

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

2008
2009



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Saison cyclonique 2008-2009

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>		
Informations satellitaires et techniques d'analyse	Page	76
<i>Interpretation of satellite imagery</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
Anne-Claire FONTAN
Sébastien LANGLADE
Géraldine RAYOT

SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

CYCLONE SEASON

South-West Indian Ocean

2008 - 2009



METEO FRANCE

Toujours un temps d'avance



Introduction

La saison cyclonique 2008-2009 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

The 2008/2009 Cyclone season In the South-West Indian Ocean

La saison cyclonique 2008-2009 figure parmi les 6-7 saisons les moins actives de ces trente dernières années dans le Sud-Ouest de l'océan Indien, malgré un nombre de systèmes baptisés légèrement supérieur à la normale. Ce constat a priori paradoxal, s'explique par les durées de vie généralement restreintes passées à une intensité significative par les phénomènes de cette saison. 2008-2009 a constitué la parfaite illustration que le nombre de phénomènes ne saurait à lui seul résumer l'activité d'une saison. En terme de conséquences et d'impact sur les terres habitées, cette saison aura été moins dommageable que la précédente, même si Madagascar a encore été confronté à trois météores, dont deux l'ont affecté de manière significative.

Dix tempêtes tropicales se sont développées sur le Sud-Ouest de l'océan Indien lors de la saison cyclonique 2008-2009. Ce nombre de phénomènes baptisés légèrement supérieur à la moyenne climatologique (qui est de neuf), reflète en fait bien trompeusement une saison dont l'activité perturbée a, de fait, été largement inférieure à la normale.

Ainsi, seulement douze systèmes dépressionnaires embryonnaires ont nécessité l'émission de bulletins par le CMRS de La Réunion durant cet exercice, ce qui permet déjà de ramener le degré d'activité de cette saison à un niveau plus conforme à sa réalité. Car depuis que le CMRS a commencé d'exercer ses activités (au début des années 90), une seule saison a vu un nombre de systèmes suivis moindre (2000-2001, avec 11 systèmes seulement), ce qui constitue un premier signal clair d'une saison d'activité réduite.

Et en terme de nombre de jours d'activité perturbée, indicateur beaucoup plus représentatif du degré d'activité cyclonique, cette saison se situe à un niveau comparable à celui de la saison 2005-2006, saison que l'on pouvait considérer jusque là comme la moins active de la dernière décennie. Malgré un nombre

nettement moindre de six phénomènes significatifs observés, 2005-2006 surpasse même la saison 2008-2009 en terme de nombre de jours cycloniques (jours avec la présence d'un cyclone tropical sur zone). Avec seulement deux cyclones – certes intenses –, cumulant sept petits jours cycloniques, 2008-2009 devient de fait la saison la moins virulente depuis 1998-1999.

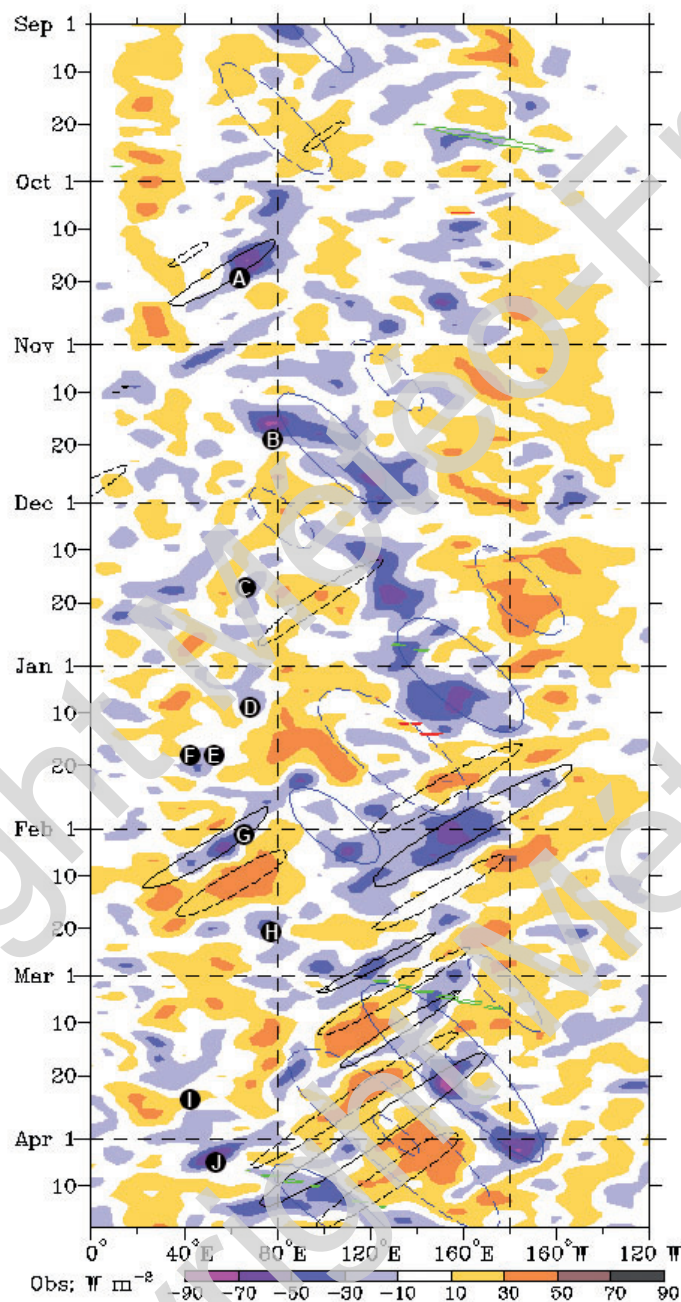
Cette saison 2008-2009, en trompe-l'œil, n'a été en réalité qu'un enchaînement de météores n'ayant pu bénéficier que de fenêtres temporelles restreintes pour se développer, d'où la faible proportion de systèmes ayant atteint le stade de cyclone tropical. Touchant terre avant d'avoir eu le temps de s'intensifier (cas de JADE ou d'ERIC – FANELE échappant de justesse à un sort similaire), ou subissant le plus souvent rapidement les foudres d'un cisaillement vertical de vent rédhibitoire, ils n'ont ainsi pu atteindre ou se maintenir à des niveaux d'intensité significatifs que trois ou quatre jours tout au plus (seul le cyclone GAEL faisant exception). La durée de vie moyenne passée au stade de dépression tropicale ou plus (i.e. tempête tropicale ou cyclone) a même été inférieure à celle des systèmes de la saison 1998-1999, et il faut en fait remonter à la saison antérieure (1997-1998) pour trouver une saison cyclonique dont les systèmes dépressionnaires ont eu une durée de vie moyenne à un stade significatif encore plus réduite. Et sachant que cette saison 97-98 détient quasiment la palme en la matière sur les 40 dernières années, c'est tout dire...

Le déficit d'activité observé cette saison est survenu dans un contexte d'inactivité cyclonique quasi généralisé à l'ensemble des océans tropicaux. En baisse spectaculaire depuis trois ans, l'activité perturbée a même chuté à son niveau le plus bas depuis trente ans (1979) à l'échelle du globe, le Sud-Ouest de l'océan Indien étant plutôt moins touché que la plupart des autres bassins, et que le reste de l'hémisphère Sud en particulier, le

Pacifique Sud-Ouest tout spécialement – qui a connu une saison 2008-2009 excessivement calme, avec un seul cyclone tropical mature s'étant développé.

Si le nombre de phénomènes d'une saison ne dit pas forcément grand chose sur son degré d'activité réel (rappelant au passage que des prévisions saisonnières d'activité cyclonique qui se contenteraient de simplement tenter de prédire ce paramètre ont un intérêt plus que limité, voire même peuvent donner une idée fausse de l'activité à venir), il n'est pas totalement dénué de sens malgré tout. Car il est un domaine sur lequel le nombre de météores peut jouer, c'est celui du nombre d'impacts potentiels sur les terres habitées. Si pour des petites îles comme celles constitutives de l'archipel des Mascareignes (Rodrigues, Maurice, La Réunion), il n'y a pas vraiment de corrélation entre le nombre de phénomènes à l'échelle du bassin et le risque d'être touchée individuellement, il en va différemment pour une île comme Madagascar, barrière large de près de 1500 km sur la route des cyclones venant de l'est et en outre exposée aux météores pouvant se développer du côté ouest, dans le Canal de Mozambique.

Et de fait, trois systèmes dépressionnaires ont atterri sur la Grande Ile, un nombre identique à celui observé la saison précédente et tout à fait dans la norme. Deux tempêtes tropicales ont ripé plus ou moins rapidement sur sa face orientale (ERIC et JADE), tandis qu'un cyclone tropical intense (FANELE) frappait sa côte sud-ouest, mais dans une zone relativement peu peuplée heureusement. Les îles Mascareignes n'ont été confrontées à aucune menace directe et ont simplement dû essuyer les influences périphériques du cyclone GAEL et, à un degré moindre, de la tempête tropicale JADE. On peut enfin considérer que l'Afrique australe a été exempte de tout phénomène, les résidus de l'ex-tempête IZILDA venus mourir sur le Mozambique, ne pouvant être considérés constituer un événement significatif.



Evolution temporelle des anomalies d'OLR lors de la saison cyclonique 2008-2009 (octobre 2008 à avril 2009) et analyse spectrale correspondante des différentes ondes tropicales associables : 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 cyclogenèses 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). Le re-développement de BOLOETSE dans le Canal de Mozambique a été indiqué par un second point de cyclogenèse.

Time evolution of the OLR anomalies for the cyclone season 2008-2009 (October 2008 to April 2009) 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's storms (as defined by the time and longitude of their initial classification at tropical depression stage) have been superimposed. The re-development of BOLOETSE has been added as a second cyclogenesis occurrence.

The activity of the 2008-2009 cyclone season can be ranked as one of the 6 or 7 lowest in the South-West Indian Ocean over the last thirty years, in spite of a slightly above normal number of named events. This a priori paradoxical situation is explained by the generally limited time during which the systems of that season remained at a significant intensity stage. The 2008-2009 season perfectly illustrates the fact that the number of events cannot in itself capture the activity of a season.

In terms of the effects and impact on inhabited areas, that season was less damaging than the previous one, even though Madagascar once again was affected by three events, of which two had a significant influence.

Ten tropical storms developed in the South-West Indian Ocean during the 2008-2009 cyclone season. This number of named events, which is slightly above the climatological average of nine storms, deceitfully reflects on a season which recorded in fact a significantly below normal disturbed activity.

Thus, only twelve incipient low pressure systems prompted the RSMC La Reunion to issue advisories during that season, which already allows us to downgrade the activity for that season to a level closer to its reality. Indeed, ever since the RSMC began its activities (in the early 90s), only one season recorded a lower number of monitored events (2000-2001, with only 11 events), which is a first clear signal of a reduced activity for the season.

In terms of the number of days with disturbed activity, an indicator which is fairly more representative of the level of activity, the season was at a level which is comparable to that of the 2005-2006 season, which hitherto could be considered as the least active season in the last decade. In spite of a much lower number of six significant events observed, 2005-2006 even tops the 2008-2009 season in terms of the number of cyclone days (days with the presence of a tropical cyclone in the area of responsibility). With only two cyclones – however intense –, barely cumulating seven cyclone days, 2008-2009 actually becomes the mildest season since 1998-1999.

In fact the 2008-2009 season unfolded with a series of meteors that could only benefit from limited timeframes to develop, hence the low percentage of events having reached the stage of tropical cyclone. Making landfall before

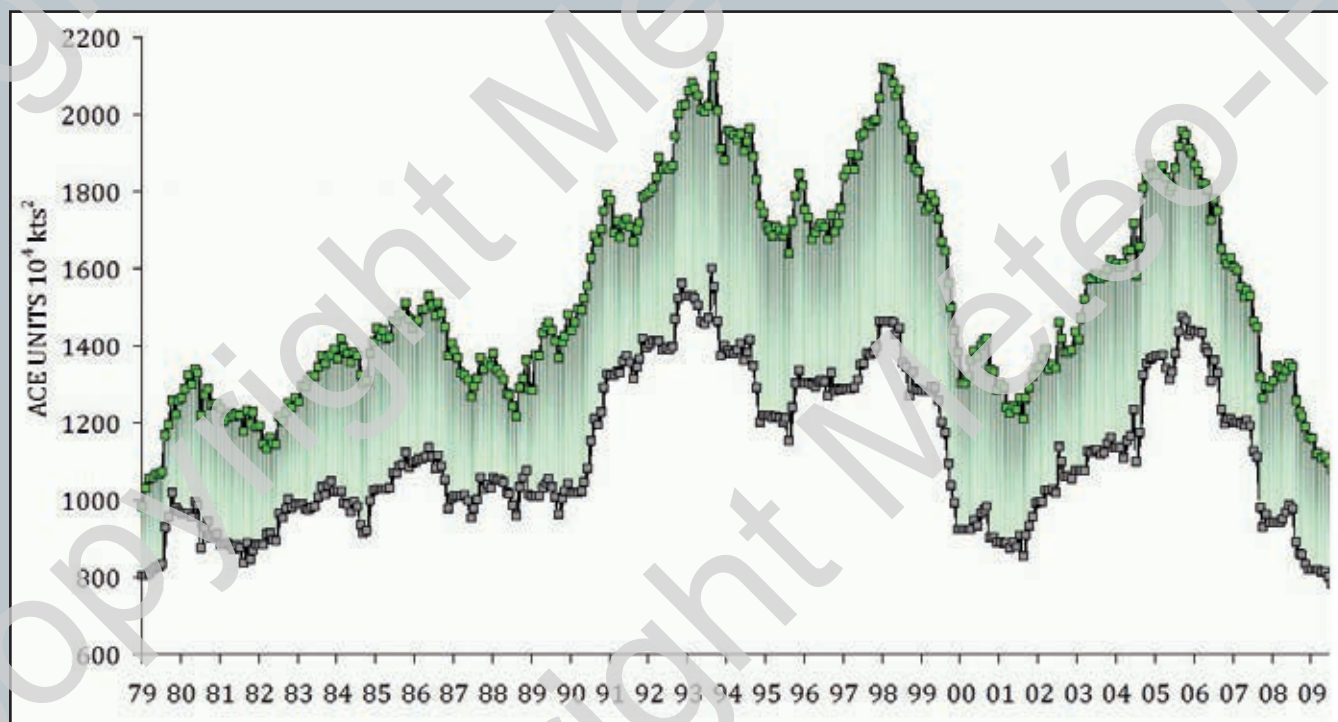
having had enough time to intensify, (for example with JADE or ERIC – FANELE barely escaped a similar fate); or most often undergoing rapidly the adverse impact of detrimental vertical wind shear the storms could only reach or maintain themselves at significant levels of intensity for three to four days at most (with the exception of cyclone GAEL). The average time period spent by the systems at the stage of a tropical depression or higher (i.e. as a tropical storm or a tropical cyclone) was even shorter than the corresponding average for the systems during the 1998-1999 season and one have in fact to go back to the preceding season (1997-1998) to find a cyclone season during which the systems had an even shorter average duration at a significant intensity level. No need to say more, when we know that the 1997-1998 season virtually set a record in that field over the last forty years...

The lack of activity observed this season occurred against a backdrop of low cyclone activity almost everywhere throughout the tropical oceans. As a result of the sharp decline underwent over the past three years, the disturbed activity even

dropped to the lowest level observed in 30 years (since 1979) on a global scale. The South-West Indian Ocean was in fact rather less affected by this trend than most of the other basins and the rest of the southern hemisphere in particular, notably the South-West Pacific, which saw an extremely calm season in 2008/2009, with the development of just one mature tropical cyclone.

While the number of storms observed during a cyclone season does not necessarily say a great deal about its true level of activity (incidentally recalling that seasonal predictions of cyclone activity that would be confined to simply attempting to predict this parameter are of quite limited interest, and may even give a false idea of the future cyclone activity), it is not devoid of any significance nevertheless. Since there is one important aspect for which the number of meteors can make a difference, it is the number of potential impacts on inhabited land masses. While for small islands such as those making up the Mascarenes Archipelago (Rodrigues Island, Mauritius and La Reunion), there is no real correlation

between the number of phenomena on the basin scale and the risk of being hit or affected individually, the situation is different for an island like Madagascar, a large barrier almost 1 500 km long that lies in the path of cyclones coming from the east, and that is also exposed to storms that may develop off its west coast, in the Mozambique Channel. And indeed, three systems made landfall on Madagascar, the same number as observed in the preceding season and entirely consistent with the climatological norm. Two tropical storms grazed more or less rapidly the Big Island while slipping along its eastern seaboard (ERIC and JADE), while an intense tropical cyclone (FANELE) hit the southwest coast, but fortunately in an area with relatively few people. The Mascarenes Islands did not have to face any direct threat and only had to deal with the peripheral effects of cyclone GAEL and, to a lesser degree, those of tropical storm JADE. Southern Africa was essentially spared altogether, since the remnants of tropical storm IZILDA that ended dying out over Mozambique could not be considered to constitute a significant event.

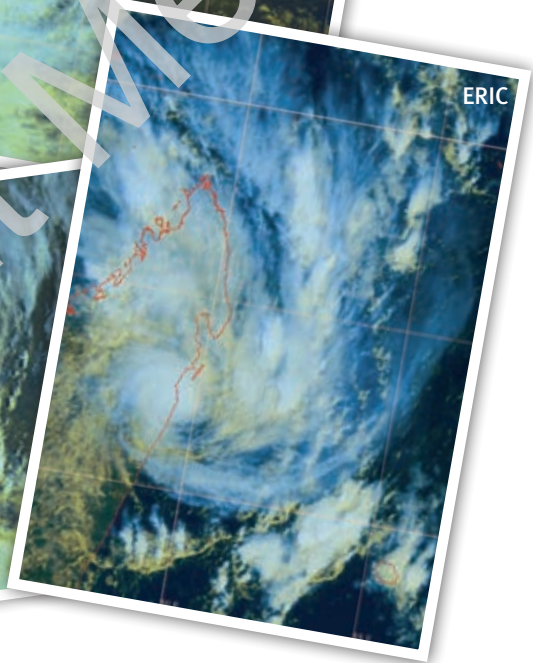
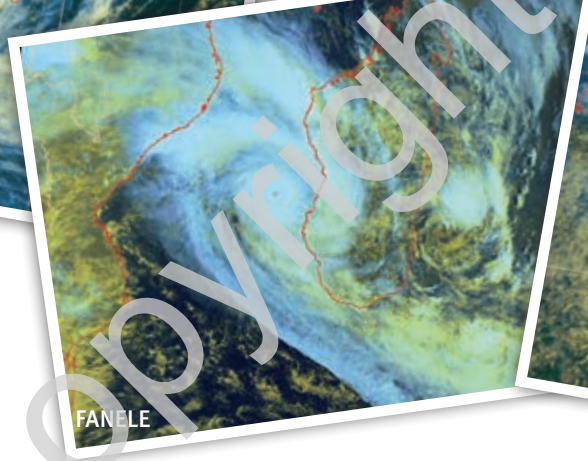
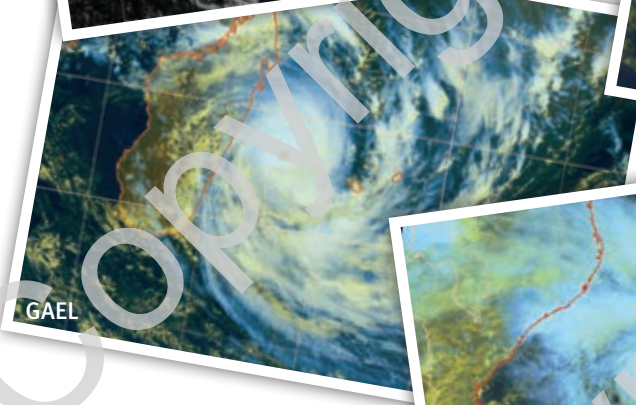
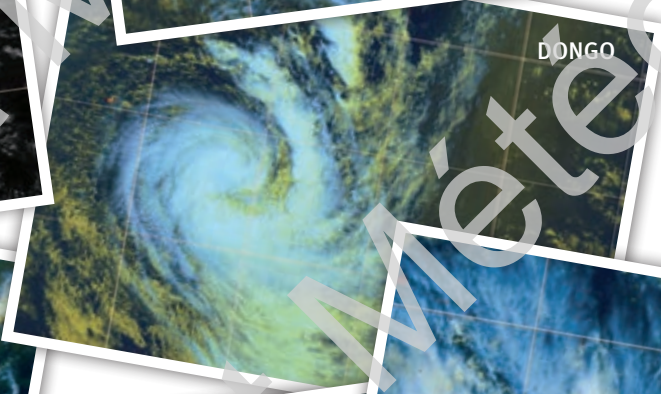
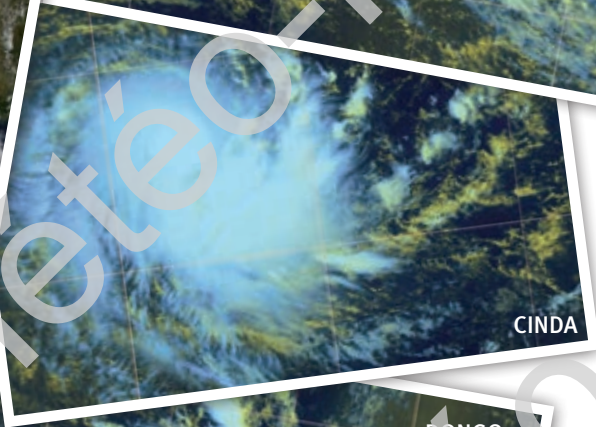
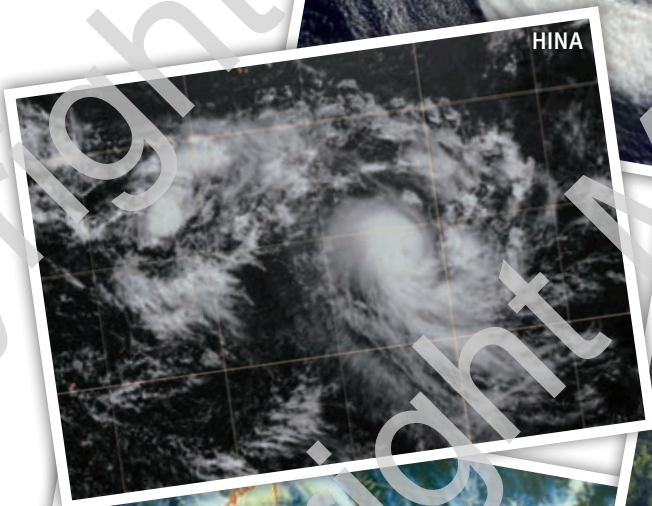
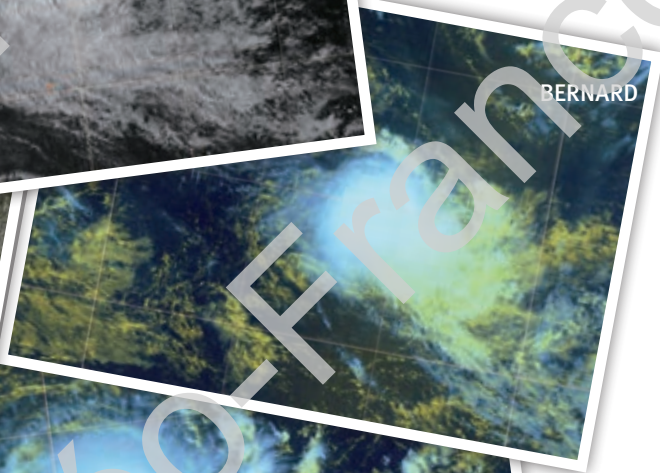
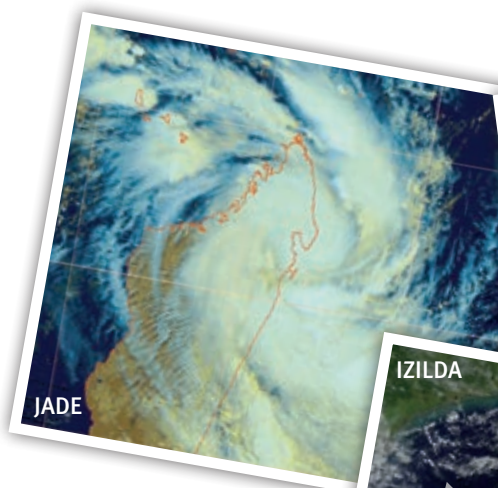


L'activité cyclonique mondiale à un niveau extrêmement bas, proche du record historique sur la période contemporaine. Le graphe ci-dessus représente l'évolution temporelle (de 1979 au 30 juin 2009) de l'énergie cyclonique cumulée (définie comme la somme des carrés des vitesses maximales de vent hexa-horaires 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.

Near-historical record low global tropical cyclone activity. The graph above depicts the time-evolution (from 1979 till June 30, 2009) 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. (Data courtesy Dr. Ryan N. Maue).



Perturbations

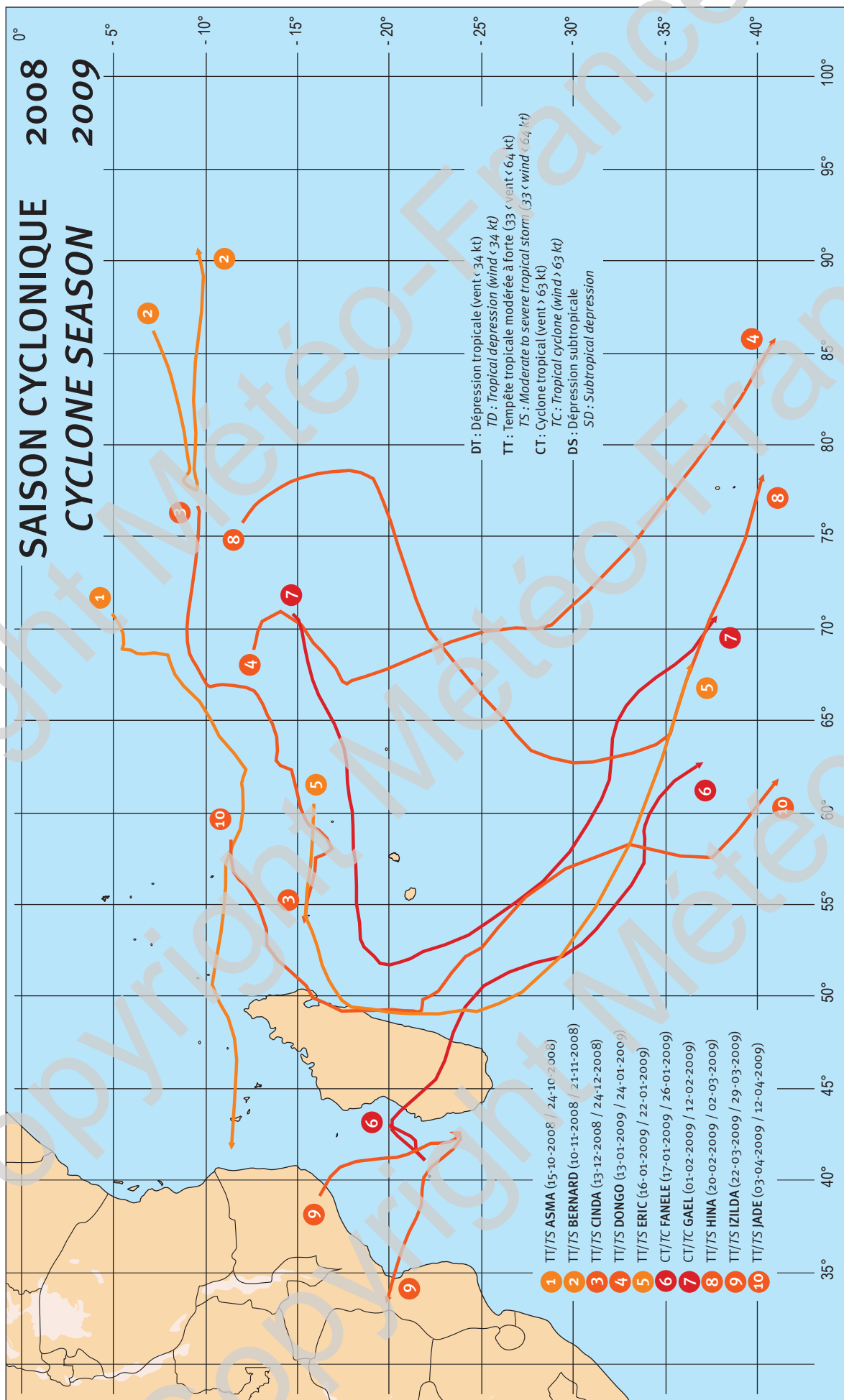
Analysées dans l'ordre chronologique

Analysed disturbances in chronological order

-  **01 ASMA**
Tempête tropicale modérée
(15 – 24 octobre 2008)
-  **02 BERNARD**
Tempête tropicale modérée
(13 – 21 novembre 2008)
-  **03 CINDA**
Forte tempête tropicale
(13 – 24 décembre 2008)
-  **04 DONGO**
Forte tempête tropicale
(7 – 14 janvier 2009)
-  **05 ERIC**
Tempête tropicale modérée
(16 – 22 janvier 2009)
-  **06 FANELE**
Cyclone tropical intense
(17 – 26 janvier 2009)
-  **07 GAEL**
Cyclone tropical intense
(1^{er} – 12 février 2009)
-  **08 HINA**
Forte tempête tropicale
(20 février – 2 mars 2009)
-  **09 IZILDA**
Forte tempête tropicale
(22 – 29 mars 2009)
-  **10 JADE**
Forte tempête tropicale
(3 – 12 avril 2009)

-  **01 ASMA**
Moderate tropical storm
(15 – 24 October 2008)
-  **02 BERNARD**
Moderate tropical storm
(13 – 21 November 2008)
-  **03 CINDA**
Severe tropical storm
(13 – 24 December 2008)
-  **04 DONGO**
Severe tropical storm
(7 – 14 January 2009)
-  **05 ERIC**
Moderate tropical storm
(16 – 22 January 2009)
-  **06 FANELE**
Intense tropical cyclone
(17 – 26 January 2009)
-  **07 GAEL**
Intense tropical cyclone
(1 – 12 February 2009)
-  **08 HINA**
Severe tropical storm
(20 February – 2 March 2009)
-  **09 IZILDA**
Severe tropical storm
(22 – 29 March 2009)
-  **10 JADE**
Severe tropical storm
(3 – 12 April 2009)

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	ASMA	TT/TS	45 (20/10/2008)	988
2	BERNARD	TT/TS	35 (20/11/2008)	995
3	CINDA	TT/TS	50 (13/12/2008)	985
4	DONGO	TT/TS	50 (11/01/2009)	984
5	ERIC	TT/TS	45 (19/01/2009)	990
6	FANELE	CT/TC	100 (20/01/2009)	930
7	GAEL	CT/TC	100 (07/02/2009)	930
8	HINA	TT/TS	57 (22/02/2009)	976
9	IZILDA	TT/TS	60 (25/03/2009)	978
10	JADE	TT/TS	60 (06/04/2009)	975



Caractéristiques

de la saison 2008-2009 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

Statistical data relative to the 2008-2009 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)
TT/TS	ASMA				1									3
TT/TS	BERNARD					1								2
TT/TS	CINDA						1							4
TT/TS	DONGO							1						4
TT/TS	ERIC							1						4
CT/TC	FANELE							1						5
CT/TC	GAEL							1						8
TT/TS	HINA								1					6
TT/TS	IZILDA									1				4
TT/TS	JADE										1			5
MOYENNE (AVERAGE LIFETIME) =														4.5

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	9 (9)	2 (4)	2	0
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (calendaires) Number of days with cyclone activity	49 (68)	41	28 (42)	6 (13)	2	0
NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (cumulés pour l'ensemble des perturbations) Cumulated number of days for all the disturbances	53 (75)	45	31 (48)	6 (13)	2	0

* 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)

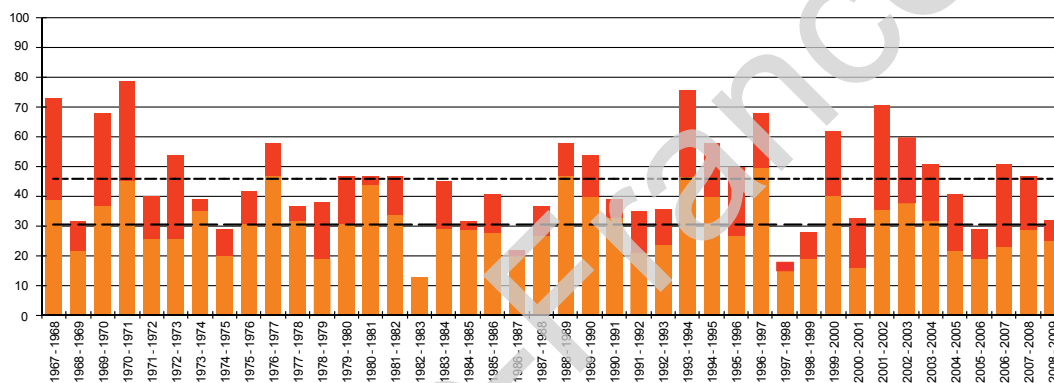
• CI = 7.0 et plus : cyclone tropical très intense (very intense tropical cyclone)

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).



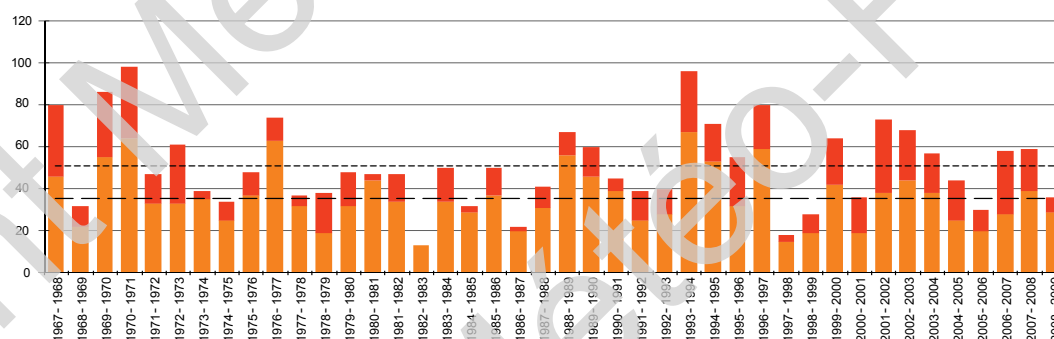
Variation interannuelle du nombre de jours avec activité cyclonique sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.

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).

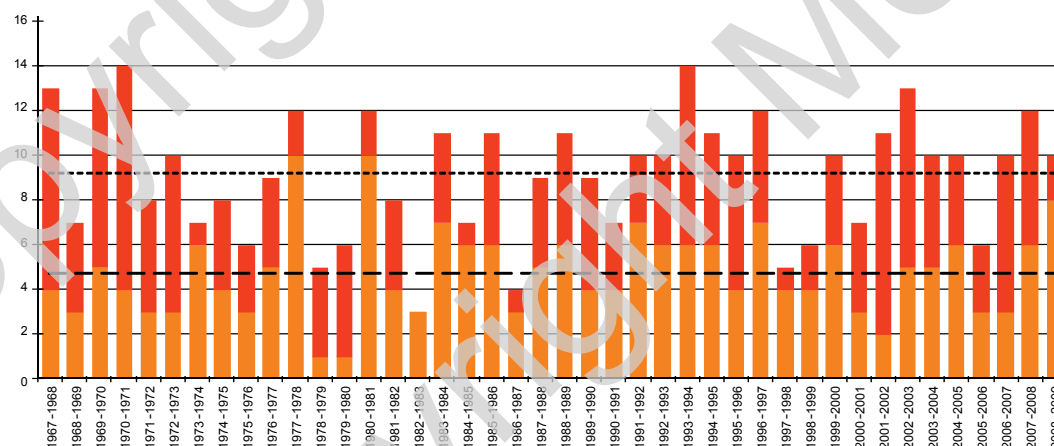
Annual variation in cyclonic activity* in the South-West Indian Ocean basin and average.

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

Cyclolyse (Cydolysis)

- Domaine polaire (extratropical domain) = 6
- Domaine tropical (tropical domain) = 4
dont [Sur terre (overland) = 1
(among which) [Sur mer (oversea) = 3

4. QUALITÉ DES PRÉVISIONS (VERIFICATION OF FORECASTS)

ÉCHÉANCE (HEURES) (FORECAST HOUR)	ÉCART MOYEN (KM) $CI \geq 2.0$ MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)	ÉCART MOYEN (KM) $CI \geq 3.0$ MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)	ÉCART MOYEN (KM) $CI \geq 5.0$ MEAN ERROR (NOMBRE DE CAS) (NUMBER OF CASES)
12	80 (169)	67 (85)	64 (19)
24	113 (167)	100 (85)	102 (19)
48	174 (161)	180 (83)	243 (19)
72	256 (143)	287 (77)	367 (19)

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

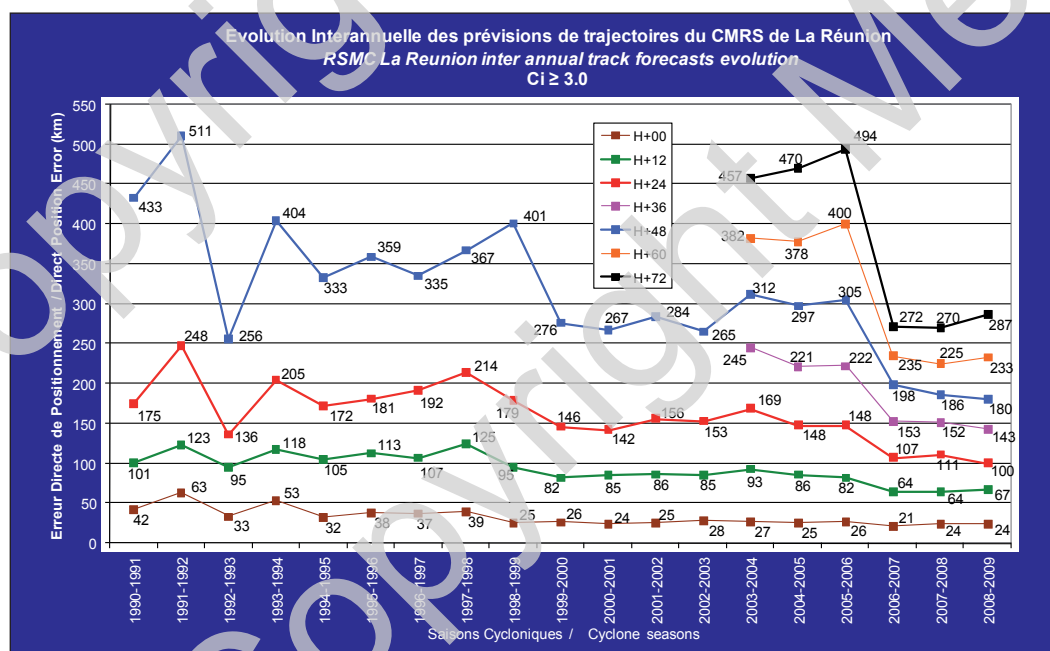
Le graphe ci-dessous montre l'évolution temporelle de la qualité des prévisions de trajectoires du CMRS de La Réunion depuis qu'il a commencé d'en diffuser. Les erreurs de prévisions présentées le sont par échéance de prévision et pour des intensités significatives à l'analyse (au moins 3.0 sur l'échelle de Dvorak). Les chiffres figurant au-dessus des courbes indiquent les valeurs moyennes annuelles correspondantes.

La saison 2006-2007 a été marquée par un bond spectaculaire dans la qualité des prévisions de trajectoires du CMRS de La Réunion. Des performances historiquement basses ont été établies : les erreurs de prévisions sont descendues pour la première fois sous les 200 km à 48h d'échéance et sous les 300 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 3.0 on the Dvorak scale).

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

The 2006-2007 cyclone season was stamped with a spectacular improvement in the quality of the track forecasts made by RSMC La Reunion with historical performances. Lowest levels of track errors have been established with the 48 and 72h forecasts dropping respectively below the 200 km and 300 km marks for the first time.



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 2008-2009)
NUMBER OF BULLETINS ISSUED BY RSMC/LA REUNION (CYCLONE SEASON 2008/2009)

N°	PERTURBATIONS TROPICALES <i>TROPICAL DISTURBANCES</i>	Bulletins Marine Spéciaux - <i>Special Marine Bulletins</i>					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	01-20082009	3					3		
2	ASMA	13	9	6			28	5	1
3	BERNARD	5	3				8	1	1
4	CINDA	8	5	8	2		23	10	1
5	DONGO	6		6	8		20	15	1
6	ERIC	2	7	8			17	8	1
7	FANELE	2	5	7	2	6	22	15	1
8	GAEL	5	1	10	3	16	35	29	1
9	HINA	7	2	4	4		17	8	1
10	10-20082009	5	3				8		
11	IZILDA	4	1	7	3		15	10	1
12	JADE	5	9	11	5		30	15	1
	TOTAUX (TOTALS)	65	45	67	27	22	226	116	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.

Asma

Tempête Tropicale Modérée du 15 au 24 octobre 2008

Moderate Tropical Storm "Asma" (15-24 October 2008)



FORMATION

La saison cyclonique 2008-2009 débute dans le Sud-Ouest de l'océan Indien (et dans l'hémisphère Sud) de manière relativement précoce, en octobre. Le contexte est alors favorable à la convection – et donc potentiellement à la cyclogenèse –, avec l'arrivée sur la partie centrale de l'océan Indien d'une phase humide de la MJO (oscillation de Madden-Julian). Bien que concernant au premier chef la partie nord de l'océan Indien, comme il est normal en cette période de l'année, son influence déborde sur la zone proche-équatoriale de l'hémisphère Sud, y favorisant un renforcement de l'activité convective. A la fin de la première décennie, une première zone perturbée se forme ainsi au sud des Chagos et fait l'objet d'un suivi par le CMRS de La Réunion, mais cette velléité s'avère vite infructueuse, ce premier système dépressionnaire de la saison demeurant de très faible intensité et ne dépassant pas le stade de perturbation tropicale.

Dans la foulée, une nouvelle zone d'activité convective apparaît sur l'extrême nord-est du bassin, en liaison avec la propagation vers l'est de la pulsation de MJO (celle-ci s'accompagnant, assez classiquement, d'un renforcement des vents d'ouest équatoriaux en basse troposphère). Le 9 octobre, un minimum dépressionnaire mal défini est décelé vers 3S/85E. Au cours des jours suivants, aucune évolution significative n'est observée, si ce n'est le décalage vers l'ouest-sud-ouest de cette zone perturbée. La circulation dépressionnaire demeure très élongée au sein du talweg proche-équatorial et la convection associée est certes assez étendue, mais

reste inorganisée, morcelée et fluctuante. La perspective d'une cyclogenèse paraît exclue à court terme : outre la proximité de l'Equateur, qui limite la force de Coriolis, la persistance d'un cisaillement vertical de vent d'est à nord-est modéré constitue le facteur le plus limitant. Mais certains modèles numériques pronostiquent la formation à moyenne échéance de deux circulations dépressionnaires jumelles de part et d'autre de l'Equateur, sans toutefois les développer.

Ce scénario assez classique d'inter-saison, bien que se produisant habituellement plus tardivement (fréquent en novembre), va trouver un début de concrétisation à partir du 11, avec la mise en place d'une zone de convection "jumelle" dans l'hémisphère Nord. Il faut cependant attendre la nuit du 15 au 16 octobre, pour voir s'ébaucher une velléité de cyclogenèse plus tangible. Le système, maintenant localisé à l'ouest de l'archipel des Chagos, commence de s'organiser : la convection, désormais persistante, se densifie et se regroupe, tandis que la circulation dépressionnaire devient dans le même temps plus circulaire, autour d'un centre de mieux en mieux défini et désormais identifiable sur l'imagerie micro-onde.

L'analyse spectrale des anomalies de vent zonal et de convection (via le paramètre OLR – Outgoing Longwave Radiation), indiquent que l'activité perturbée en cours dans l'océan Indien proche-équatorial se produit en conjonction et en interaction avec un certain nombre d'ondes équatoriales : l'oscillation de Madden-Julian déjà évoquée, une onde couplée de Kelvin et une onde de Rossby équatoriale. Cette dernière, se propageant classiquement vers l'ouest, avec une structure symétrique par rapport

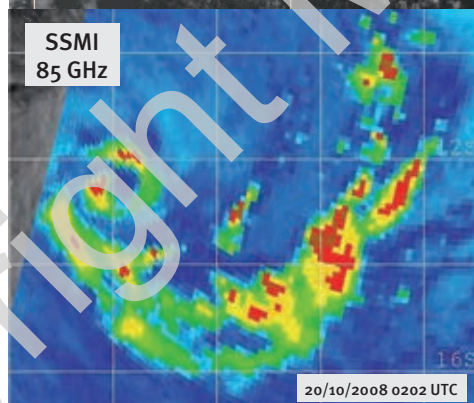
à l'Equateur, semble s'être développée brutalement au sein de l'enveloppe de la MJO, mais tend depuis à devenir prédominante, avec un signal désormais plus intense que le signal de fond de la MJO. Si le lien entre cette onde de Rossby équatoriale et les velléités de cyclogenèses jumelles en cours est plus que probable, il demeure difficile d'en démêler la réelle nature. L'origine de ces ondes de Rossby équatoriales demeure, en effet, pour bonne part nébuleuse. Leur développement en conjonction avec des cyclogenèses de perturbations tropicales est fréquemment observé, mais sans que l'on sache encore bien qui influence qui. Les données diffusiométriques de fauchées successives QuikScat et Ascat confirment le creusement et le renforcement de la circulation dépressionnaire : la zone centrale de vents faibles encore large en fin de journée du 15, s'est sensiblement rétrécie au matin du 16, tandis que les vents se sont renforcés autour, tant du côté alizés que du côté équatorial, justifiant un classement du système en perturbation tropicale dans l'après-midi.

ÉVOLUTION

A ce stade, la cyclogenèse est toutefois encore loin d'être acquise. Car si le contexte est globalement favorable, un élément clé persiste à vouloir la contrecarrer. Il s'agit du cisaillement vertical de vent, qui reste fort et empêche la mise en cohérence verticale de la convection et de la circulation dépressionnaire, dont le centre demeure durablement exposé en marge orientale des masses nuageuses convectives. La perturbation végète ainsi, à un stade d'intensité faible et peu ou prou inchangé, durant encore plus de 48h.

Dans l'intervalle, elle s'écarte notablement de l'Equateur, se déplaçant vers le sud dans un premier temps, le 17, puis vers le sud-ouest. Cela a pour effet de la rapprocher de l'axe de la dorsale d'altitude, ce qui s'accompagne d'une baisse du cisaillement de vent. Encore proche des 20 nœuds (d'après les données du CIMSS) au niveau du 10ème parallèle Sud (franchi en début de journée du 19), celui-ci diminue encore au cours des heures suivantes et devient faible à partir de l'après-midi.

Les conséquences ne se font pas attendre : le déphasage entre le centre de la circulation de basses couches et la convection s'estompe rapidement, amenant au classement du système en dépression tropicale. Puis la convection se développe puissamment au-dessus du centre la nuit suivante, permettant le creusement de la dépression, qui



La tempête tropicale modérée asma au maximum de son intensité. Une amorce d'œil en bande est visible sur l'imagerie micro-onde.

Moderate tropical storm ASMA at its intensity peak. An embryonic banding eye is visible on the microwave imagery.

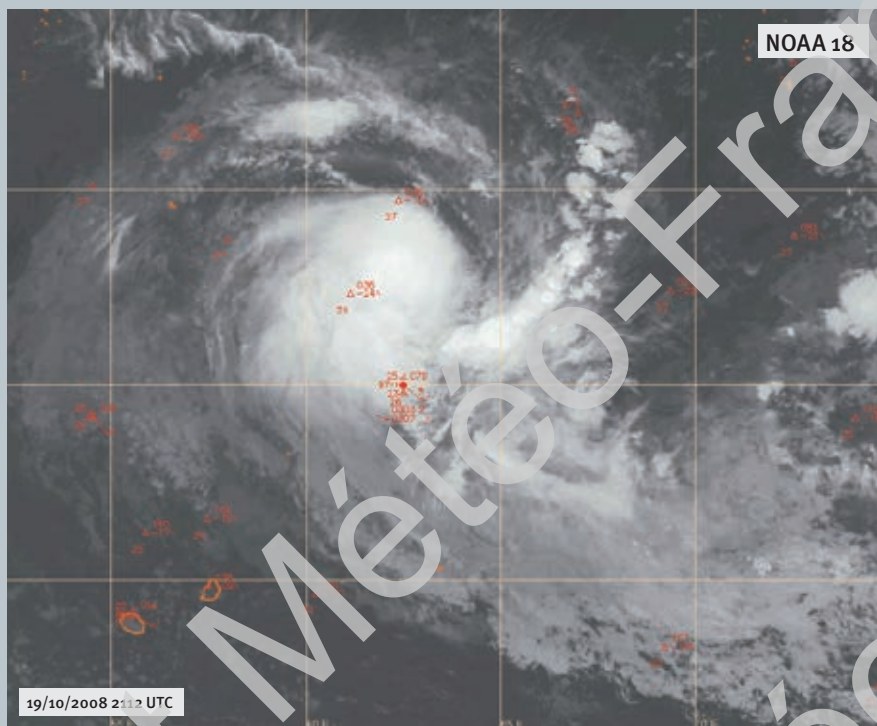
FORMATION

The 2008-2009 cyclone season began rather early in the South-West Indian Ocean (and accordingly in the southern hemisphere) in October. The context was then favourable to convection – and therefore potentially to cyclogenesis –, with the arrival in the central part of the Indian Ocean of a moist phase of the MJO (Madden-Julian Oscillation). Although it mainly concerned the northern Indian Ocean, as is quite normal at that time of the year, its influence extended to the near-equatorial zone of the southern hemisphere, contributing to the invigoration of the convective activity observed there. At the end of the first decade, a first zone of disturbed weather thus formed to the south of the Chagos Archipelago and was monitored by the La Réunion RSMC, but that first attempt soon proved to be unsuccessful, as the first low pressure system of the season remained of weak intensity and did not develop beyond the stage of tropical disturbance. Straight afterwards, a new area of convective activity appeared in the far northeast end of the basin, in connection with the eastward propagation of the MJO wave (the latter bringing about, in a rather usual way, an equatorial westerly

windburst in the lower troposphere). On 9 October, an ill-defined low-pressure centre was detected around 3S/85E. During the following days, no significant evolution was observed, except the west-southwest shift of that disturbed zone. The low circulation remained elongated within the near-equatorial trough and the related convection was indeed rather extensive, but still poorly organized, broken up and fluctuating. The prospect of cyclogenesis did not seem possible in the short term: in addition to the proximity of the Equator, with marginal Coriolis force, the persistence of moderate east to northeasterly vertical windshear was the most limiting factor. But some numerical models forecast the formation at medium range of two twin low circulations on either side of the Equator, without developing them however. Although this rather classical transition period scenario usually takes place later on (often in November), it began to unfold from the 11th, with the setting of a “twin” convection area in the northern hemisphere. However it was not until the night of the 15th to the 16th that cyclogenesis started to take shape more tangibly. The cloud system, now situated to the west of the Chagos Archipelago, began to become organized: convection,

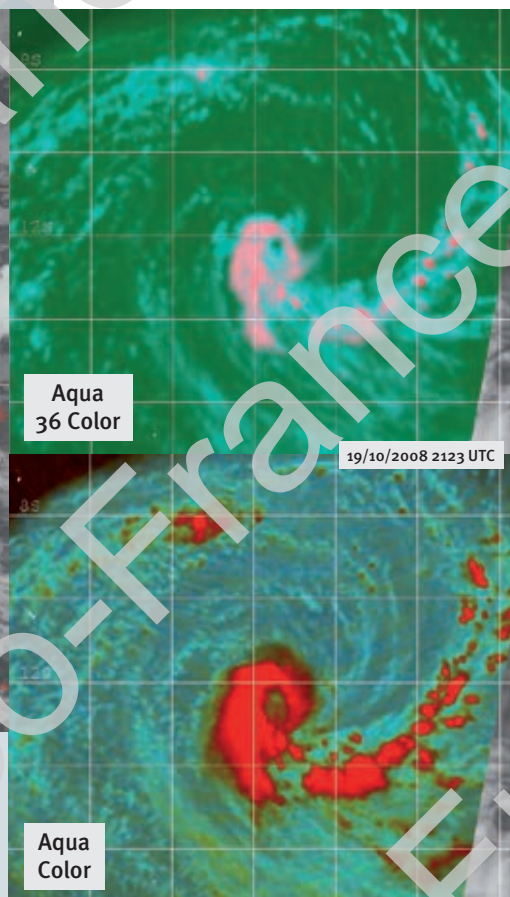
devient tempête tropicale modérée en première partie de nuit. Le premier système baptisé de la saison prend alors le nom d'ASMA.

L'imagerie micro-onde atteste le plus clairement de l'organisation rapide de la structure interne du météore, avec la constitution d'un embryon d'œil en bande à l'aube du 20 octobre. ASMA vient alors de franchir le 12^{ème} parallèle Sud et d'atteindre ce qui va s'avérer le point le plus sud de sa trajectoire, celle-ci redressant à cet instant vers l'ouest, au contact des hautes pressions subtropicales qui commencent à se renforcer depuis le sud des Mascareignes. Si à cette latitude le cisaillement de vent est faible, un autre paramètre environnemental va par contre lui en se dégradant. Il s'agit du potentiel énergétique océanique, qui devient plus que limite pour soutenir l'évolution de la perturbation, avec des températures de surface de la mer qui, en ce début de printemps austral, atteignent tout juste le seuil critique des 26°C à cet endroit.



La tempête tropicale modérée ASMA peu avant son maximum d'intensité. Percant à travers l'amas nuageux central affiché sur l'imagerie infrarouge, l'imagerie micro-onde révèle l'évolution et l'organisation de sa structure interne.

The moderate tropical storm ASMA a short while before its maximum of intensity. Peering into the central dense overcast displayed on the infrared imagery, the microwave imagery revealed the improving evolution of its inner structure.



now persistent, built up and became more concentrated, while the associated low-pressure circulation was becoming more circular at the same time, around a more and more clearly defined centre that could now be identified on the microwave imagery.

The spectral analysis of zonal wind anomalies and convection (via the OLR parameter- Outgoing Longwave Radiation), indicated that the disturbed activity that was going on in the near-equatorial Indian Ocean was taking place in conjunction and interaction with a number of equatorial waves: the aforementioned Madden-Julian oscillation, a convectively coupled Kelvin wave and an equatorial Rossby wave. The latter, classically propagating westward, with a symmetrical structure in relation to the Equator, seemed to have suddenly developed within the MJO envelope, but tended from then on to prevail, with a more intense signal than the background signal of the MJO henceforth.

If the link between the equatorial Rossby wave and the preliminary signs of twin cyclogenesis was more than likely, it was difficult to get to the bottom of its real nature since the origin of the equatorial Rossby waves remain mostly unclear. Their development in conjunction with

the cyclogenesis of tropical disturbances can frequently be observed, but it is still hard to say which one influences the other.

The scatterometer data of successive QuikScat and Ascát swaths confirmed the deepening and the strengthening of the low circulation: the central zone of weak winds, still wide at the end of October 15th, appeared significantly shrunk on the morning of the 16th, while the winds have gained strength around it, both on the trade winds and the Equator sides. This justified the upgrading of the system to tropical disturbance stage in the afternoon.

EVOLUTION

At that stage, however, cyclogenesis was still far from being taken for granted. Because if the context was globally favourable, a key element persisted in thwarting it: the vertical windshear, which remained strong and hindered the vertical stacking of the convection with the low-pressure circulation whose centre remained tenaciously exposed to the east of the convective cloud masses. Thus the disturbance tended to stagnate at a weak intensity level, which remained roughly unchanged for more than 48h. In the meantime, it moved notably

Et de fait, la consommation énergétique de la tempête, qui plus est accrue par un déplacement devenu lent, dépasse rapidement les capacités offertes par l'océan sous-jacent. Le processus d'intensification est stoppé net, avant d'avoir pu donner sa pleine mesure. A la baisse d'alimentation énergétique, vient se conjuguer un essoufflement de la divergence d'altitude, qui avait été plutôt favorable jusque là. C'en est trop pour ASMA, dont la convection commence à s'effondrer dès avant la mi-journée de ce 20 octobre. Le coup de grâce est porté la nuit suivante, avec un regain de ventilation – de nord-est à nord cette fois.

Au matin du 21, la convection s'est presque entièrement volatilisée et l'ex-ASMA perd son statut de dépression tropicale quelques heures plus tard. Son comblement se poursuit ensuite, plus lentement. Le vortex résiduel central de nuages bas transite la nuit suivante à proximité sud des îlots d'Agalega, puis, continuant sa course en direction de l'ouest-nord-ouest en bordure de la dorsale subtropicale, passe par le travers de l'archipel des Farquhar 24h plus tard. Une bouffée de convection développée

20/10/2008 0430 UTC

Météosat 7

21/10/2008 1030 UTC

Duo de systèmes dépressionnaires sur l'Ouest de l'océan Indien. Des cyclogenèses dites "jumelles", survenant de manière plus ou moins concomitante dans les hémisphères Nord et Sud, sont régulièrement observées sur l'océan Indien lors des inter-saisons, i.e. autour des mois de mai ou novembre (le dernier cas en date remontant à pas plus tard que novembre 2007, avec les cyclogenèses de LEE/ARIEL et SIDR sur l'Est de l'océan Indien). Elles se produisent généralement lors de phases humides de l'oscillation de Madden-Julian (MJO), en interaction avec le renforcement des vents d'ouest équatoriaux de basse troposphère qui accompagne alors ces poussées d'activité de la MJO et qui favorise l'initiation de mouvements tourbillonnaires de part et d'autre de l'Equateur. Dans le cas présent, une onde de Rossby équatoriale était également impliquée et a participé de l'événement.

Sur l'image du 20 octobre, on peut voir la tempête tropicale modérée ASMA, au maximum de son intensité au nord-est de Madagascar, et la dépression tropicale ARBoz en mer d'Arabie, centrée au voisinage de l'île de Socotra et se dirigeant alors vers la Corne de l'Afrique. 30h plus tard, les deux systèmes se sont affaiblis, subissant en particulier les effets néfastes d'une ventilation excessive en altitude. De ces deux systèmes, c'est finalement le plus faible qui aura le plus de conséquences. A l'image de ce qui s'était passé en mai 2002 lors d'une situation très similaire (sauf que le système du Sud-Ouest de l'océan Indien -KESINY- avait affecté le Nord de Madagascar), le système dépressionnaire de l'hémisphère Nord va provoquer des inondations exceptionnelles sur le Sud de la péninsule arabique. En 2002, Oman avait été sévèrement touché. Cette fois, c'est le Yémen qui va être concerné, quand le minimum dépressionnaire résiduel de cette dépression tropicale viendra finir sa course sur les terres arides de l'Hadramaout, le 23 octobre. De violentes précipitations orageuses, aussi rares que meurtrières, vont provoquer des crues dévastatrices, dans la région de Shibam tout particulièrement (ville inscrite au patrimoine mondial de l'Unesco), faisant plus de 180 morts et 25 000 sinistrés (source UN-OCHA).

A duo of tropical systems in the West of the Indian Ocean. So called "twin" cyclogeneses, which occur more or less simultaneously in the northern and southern hemispheres, can regularly be observed in the Indian Ocean in the transition periods, i.e. around the months of May or November (the latest case happened no later than in November 2007, with the cyclogeneses of LEE/ARIEL and SIDR in the eastern Indian Ocean). They generally take place during the moist phases of the Madden-Julian oscillation (MJO), in interaction with equatorial westerly windbursts which accompany in the low troposphere the pulse of the MJO and which favours the spin up of swirling circulations on either side of the Equator. In the present case, an equatorial Rossby wave was also implicated and took part in the event.

On the image of October 20th, one can see moderate tropical storm ASMA, at its intensity peak northeast of Madagascar, and the tropical depression ARBoz in the Arabian Sea, centered near the Socotra Island and tracking toward the Horn of Africa. 30h later, the two systems had weakened, undergoing the negative impact of excessive upper ventilation in particular. Of the two systems, it was eventually the weaker which had the most significant consequences. Just like what happened in May 2002 in a very similar situation (except that the system in the southern Indian Ocean - KESINY - had hit the North of Madagascar), the northern hemisphere system had brought about exceptional floods in the South of the Arabian peninsula. In 2002, Oman had been severely struck. This time, it was Yemen which was concerned, when the residual low-pressure centre of that tropical depression terminated its run over the arid lands of the Hadramaout region, on October 23rd. Violent stormy rains, as uncommon as deadly, caused devastating floods, mainly in the Shibam region (a town registered in the Patrimonial list of Unesco), claiming more than 180 casualties and 25000 homeless victims. (source : UN-OCHA).

away from the Equator, first tracking southward, on the 17th then southwestward. This resulted in bringing it closer to the axis of the upper ridge, which entailed a weakening of the windshear. Still close to 20 knots (according to the CIMSS data) at the level of latitude 10°South, which the system crossed at the beginning of the 19th, it abated even more during the following hours and became weak from the afternoon onward.

The effect did not take long to be felt : the decoupling between the low-level circulation centre and the convection quickly diminished, eliciting the upgrading of the system to tropical depression stage. Then the convection powerfully developed above the centre during the following night, allowing the depression to deepen thus becoming a moderate tropical storm during the first part of the night. The first system of the season to be baptized was then named ASMA.

The microwave imagery testified the most clearly to the quick organisation of the inner structure of the meteor, with the formation of an embryonic banding eye at the dawn of October 20th. ASMA had just then crossed latitude 12°South and reached what proved to be the farthest southern point of its track. The latter then swerved toward the west as impinging on the northern boundary of the subtropical high which had just started to strengthen from the south of the Mascareignes Islands. If at that latitude the windshear was still weak, another environmental parameter tended to deteriorate : the ocean heat content, which was now more than marginal to sustain the disturbance, with sea surface temperatures that, at the beginning of the southern hemisphere spring, barely reached the critical threshold of 26°C in that area.

Actually, the energetic over-consumption of the storm, increased by its now slow motion, soon exceeded the capacity of the underlying ocean. The intensification process was stopped abruptly, before it could produce its plain effect. The drop in energy supply combined with the waning of the upper divergence, which had been rather favourable up to then. That was too much for ASMA, whose convection already started to collapse before midday of October 20th. It was given the death blow on the following night, accruing from increased ventilation (northeasterly to northerly this time).

On the morning of the 21st, convection had almost vanished and ex-ASMA lost its status as a tropical depression a few hours later. It then went on filling,

more slowly. The central residual vortex of lower clouds passed not too far south of the Agalega islets. Then, keeping on heading west-northwest along the subtropical ridge, it passed abeam the Farquhar Archipelago 24 hours later. An outburst of convection which developed in the southwestern quadrant of the low-pressure circulation, generated some stormy rain on the northeast coast of Madagascar during that same night of the 22nd to the 23rd.

Then the system, gradually dissipating, headed toward the north of the Mozambique Channel. The warm and moist advection related to the residues of ASMA still generated a few short-lived thunderstorms cloud clusters which brought a few showers to the Comoro Islands, then to the far north of Mozambique.

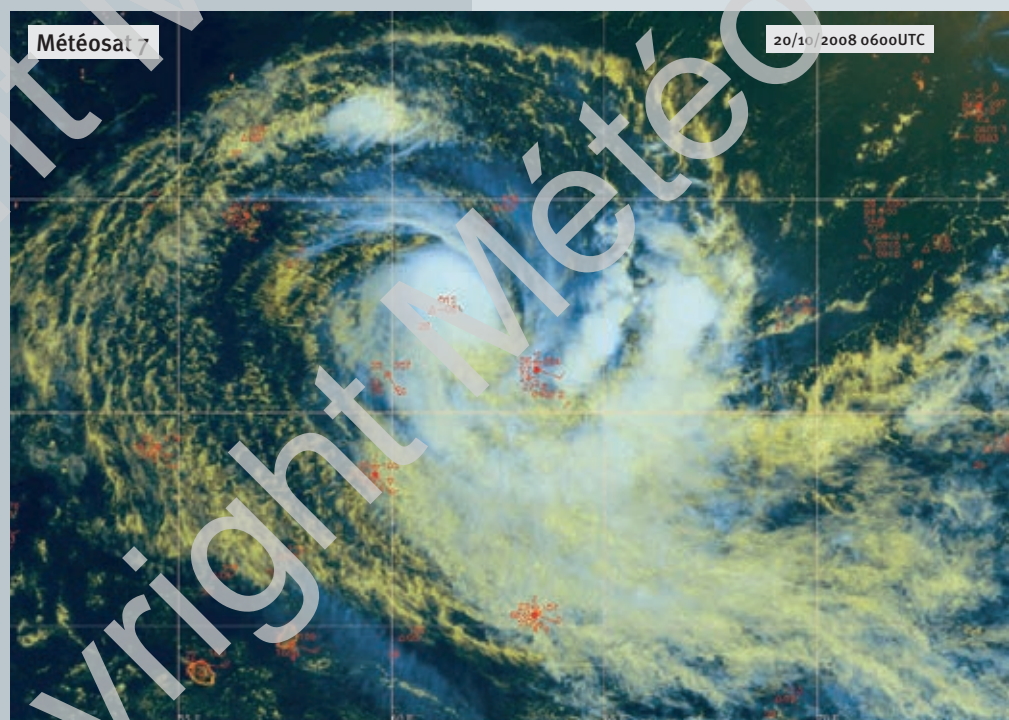
As an early season system which evolved in a rather classical way, ASMA took advantage of a narrow window with favourable environmental conditions to reach the stage of tropical storm. Nobody thought at that time that such a scenario, which was rather natural at the beginning of the season, was to become the recurrent leitmotiv for the rest of the season to come...

dans le quadrant sud-ouest de la circulation dépressionnaire, vient occasionner quelques bonnes pluies orageuses sur la côte nord-est de Madagascar durant cette même nuit du 22 au 23.

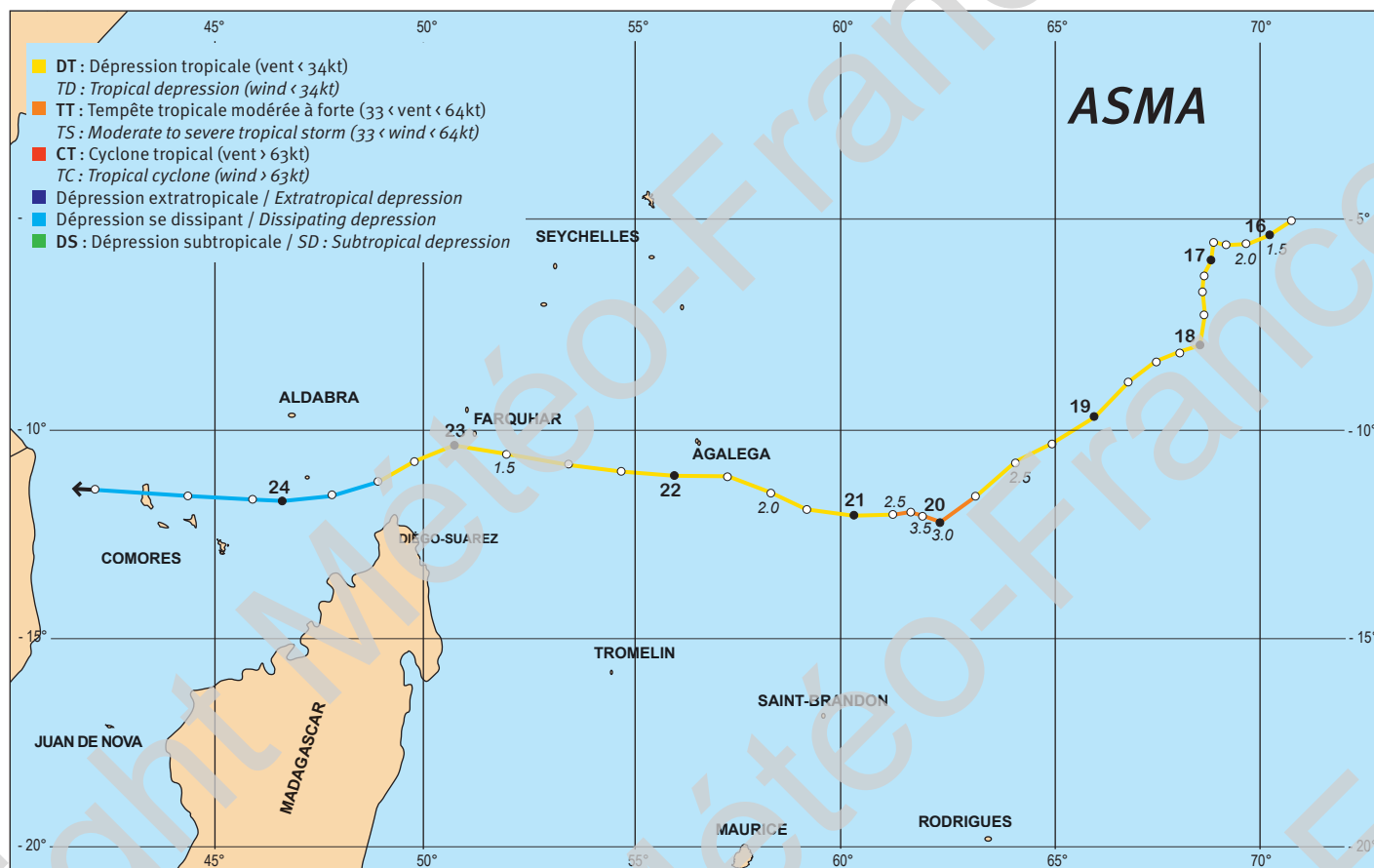
Le système va ensuite en se dissipant sur le nord du Canal de Mozambique. L'advection chaude et humide liée aux résidus d'ASMA génère encore quelques amas orageux sporadiques, qui laissent quelques ondées sur les Comores, puis l'extrême nord du Mozambique.

Système de début de saison au comportement somme toute assez classique, ASMA a su profiter d'une petite fenêtre de conditions environnementales favorables pour atteindre le stade de tempête tropicale. On ne se doutait pas alors qu'un tel scénario, assez naturel en début de saison, deviendrait un peu le leitmotiv récurrent du reste de la saison à venir...

ASMA, tempête tropicale de début de saison. La perturbation est encore au maximum de son intensité, mais sa structure nuageuse centrale montre déjà des signes d'affaissement. Un maillage inhabituellement riche d'observations, incluant une bouée ancrée du réseau RAMA ainsi que deux bouées dérivantes du programme PIBOI (Programme International de Bouées pour l'Océan Indien), permet de suivre au mieux l'évolution du phénomène. On notera l'extension importante de l'enveloppe nuageuse liée à la circulation dépressionnaire, autour du cœur, nettement plus restreint, du météore.

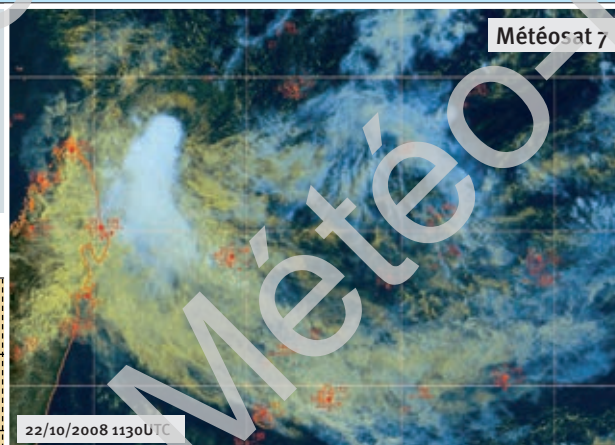


ASMA, an early season tropical storm. At the time of this image, the disturbance was still at its maximum of intensity, but its inner cloud structure already exhibited signs of collapse. An usually rich coverage of observations, including a moored buoy of the RAMA network and two drifting buoys of the IBPIO programme (International Buoy Programme for the Indian Ocean), enabled to monitor the evolution of the phenomenon almost in the best conditions. Note the wide extension of the cloud envelope related to the low-pressure circulation, around the much smaller core of the meteor.

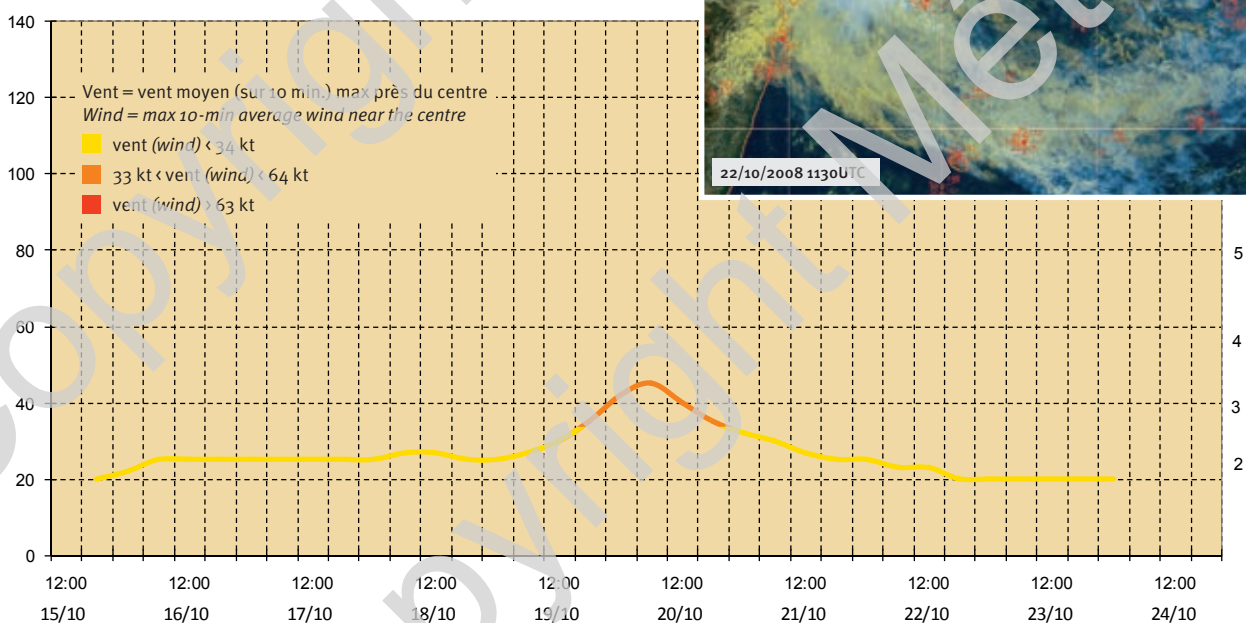


La dépression et le vortex résiduels de l'ex-ASMA, en fin de vie, s'apprêtent à transiter au nord de Madagascar. Le vaste panache nuageux associé, drainé dans son sillage sur des centaines de km, aborde alors La Réunion. Il y amènera des précipitations modérées dans l'Est (maximum de 50 mm en 24h à St-Benoît).

The remnant low and related residual vortex of ex-ASMA when about to transit to the north of Madagascar. The related trail of residual clouds, stretching over hundreds of km in its wake, was about to touch Reunion Island. It would only bring moderate rain on the eastern part of the island (maximum recorded 24h rainfall amount of 50 mm at St-Benoît).



ASMA DU 15/10 AU 24/10/2008



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)

Tempête Tropicale Modérée du 13 au 21 novembre 2008

Moderate Tropical Storm "Bernard" (13-21 November 2008)



FORMATION

Le démarrage de la saison cyclonique 2008-2009, ponctué par la cyclogenèse d'ASMA en octobre, avait coïncidé avec le développement sur la partie centrale de l'océan Indien d'une phase humide de la MJO (oscillation de Madden-Julian). On pouvait s'attendre à ce que la pulsation suivante, envisagée pour la fin novembre, marque la prochaine période à risque en terme de cyclogenèse(s). Cela va s'avérer exact, sauf que cette nouvelle phase active de la MJO va survenir plus tôt que prévu, avec une période de retour dans la fourchette basse de son autre appellation d'oscillation 30-60 jours.

C'est, en effet, moins de 5 semaines après le cycle précédent, que débute une nouvelle phase humide, avant la mi-novembre. Elle va aboutir à une double cyclogenèse, non pas jumelée de part et d'autre de l'Equateur comme en octobre, mais couplée sur la partie est de l'océan Indien Sud, avec un système classé de manière éphémère au stade minimal de la tempête tropicale modérée (BERNARD) et un autre système, à la durée de vie assez courte également, mais plus significatif en terme d'intensité, la forte tempête tropicale ANIKA, développée sur le Sud-Est de l'océan Indien.

Il semble que l'on puisse faire remonter les origines du futur BERNARD au 12 novembre, quand un minimum dépressionnaire faible (estimé à 1006 hPa) est identifié au sein du talweg proche-équatorial, légèrement à l'est du 90^{ème} méridien Est (frontière avec la zone de responsabilité australienne). Ce minimum reste bien défini au cours des jours suivants et peut être d'autant plus aisément suivi, qu'il évolue dans un environnement fortement cisailé d'est. Se décalant en

direction générale de l'ouest-sud-ouest, on le retrouve ainsi le 15 au matin vers 8.7S/81.7E, au centre d'un vortex de nuages bas entièrement exposé.

Mais il va ensuite tendre à disparaître, visuellement d'abord, car, en liaison avec l'arrivée de la pulsation de la MJO, de la convection commence à se développer puissamment, recouvrant rapidement toute la zone s'étendant de l'archipel des Chagos jusqu'aux abords de Sumatra et occultant les éléments nuageux de basses couches. Et si le minimum reste encore décelable en soirée sur les données de vents diffusiométriques de l'orbite QuikScat, ce n'est plus trop le cas le lendemain matin : l'orbite suivante ne détecte alors plus de circulation dépressionnaire fermée au sein de la zone de vents faibles associée au talweg proche-équatorial.

Il faut attendre le surlendemain (18 novembre) pour voir la situation se décanter quelque peu. Un centre dépressionnaire redevient identifiable, sur les données diffusiométriques de l'orbite Ascat du matin, à quelque 600 km dans l'est-sud-est de l'île de Diego Garcia, puis visuellement sur l'imagerie satellitaire, avec une petite virgule nuageuse de mieux en mieux définie au fil de l'après-midi, qui matérialise clairement le centre de la circulation dépressionnaire. Nouveau minimum ou résurgence du minimum précédemment suivi ? Difficile de trancher de manière certaine, mais la localisation dans la continuité de la trajectoire antérieure – certes avec un fort ralentissement du déplacement – autorise à considérer comme plausible la seconde option.

Toujours est-il que les perspectives d'avenir de ce minimum se présentent sous un jour nettement plus favorable que préalablement. En surface déjà,

le flux d'ouest bien établi qui prévalait jusque là du côté équatorial, a pris une orientation nord-ouest et vient converger plus franchement avec l'alizé présent au sud du 10^{ème} parallèle Sud, dans une configuration qui s'apparente désormais à un talweg de mousson. L'évolution est encore plus positive en altitude : la perturbation embryonnaire se situe sur les marches nord d'une dorsale de haute troposphère relativement étroite axée légèrement au sud du 10^{ème} parallèle Sud. Cette dorsale délimite une petite bande de quelques degrés de latitude où la divergence d'altitude est bonne et où le cisaillement vertical de vent est minimal (alors qu'il est fort au nord et ne va pas tarder à se renforcer au sud).

ÉVOLUTION

De la vaste zone perturbée qui s'étend alors des Chagos jusqu'aux eaux indonésiennes, vont en fait émerger deux systèmes dépressionnaires, puisque quelque 1700 km plus à l'est, une autre perturbation a commencé de s'organiser. Et c'est d'ailleurs la cyclogenèse de cette dernière qui va se concrétiser la première, avec un classement en tempête tropicale modérée survenant à la mi-journée du 19 novembre (TT ANIKA). Pour le système le plus à l'ouest, l'évolution n'a pas été aussi efficace et il n'est crédité que du statut de simple dépression tropicale à la même heure.

Depuis la veille, il a commencé de faire lentement route vers l'est. Mais ce déplacement va aller en s'accéléralant sensiblement au cours des 24h suivantes, passant d'une vitesse inférieure à 10 km/h à plus de 40 km/h. Cette course vers l'est, pas très habituelle en début de saison, s'explique par la présence en moyenne troposphère d'une cellule de hauts géopotentiels positionnée au voisinage de l'Equateur et à l'ouest de l'Indonésie. Sur sa face méridionale, elle dirige un puissant courant directeur d'ouest à l'est des Chagos, dans le lit duquel le météore est emporté.

En altitude, le flux est orienté plus au nord-ouest. Il ne va pas rester suffisamment durablement homogène verticalement pour éviter un renforcement de la ventilation au niveau de la perturbation (que sa petite taille rend plus vulnérable à ce facteur). Si bien que la fenêtre favorable pour une intensification se referme dès la fin de nuit du 19 au 20. Et comme l'évolution est demeurée dans l'intervalle des plus laborieuses, c'est un système péniblement classé au stade minimal de la tempête tropicale modérée, qui commence à se déstructurer dès

SSMIS
color

20/11/2008 0001 UTC

BERNARD au "maximum" de son intensité. Système n'ayant atteint que de manière éphémère le stade minimal de la tempête tropicale modérée, BERNARD ne restera pas comme le système le plus mémorable de cette saison 2008-2009.

BERNARD at its intensity "peak". As a system which ephemerally reached the minimal stage of moderate tropical storm, BERNARD will not be considered as the most memorable system of the 2008-2009 season.

avant la fin de journée du 20. Le complètement est rapide la nuit suivante et à l'aube du 21 novembre, l'ex-BERNARD est déjà en voie de dissipation terminale, quand son minimum résiduel s'apprête à franchir le 90ème méridien Est.

Au total, BERNARD se sera maintenu une douzaine d'heures au stade minimal de tempête tropicale modérée et n'aura donc été qu'un épiphénomène marginal, sans conteste le moins mémorable de cette saison.

FORMATION

The start of the 2008-2009 cyclone season, marked by the cyclogenesis of ASMA in October, had coincided with the development in the central part of the Indian ocean of a moist phase of the MJO (Madden-Julian oscillation). The next impulse, expected at the end of November, was anticipated to correspond to the next period at risk in terms of cyclogenesis. The prediction proved to be true, except that the new active phase of the MJO occurred earlier than expected, with a return period in the lower range of its other designation as the 30-60 days oscillation.

Indeed, it was less than 5 weeks after the previous cycle that a new moist phase surged, before mid-November hence. It led to a double cyclogenesis, not a twin cyclogenesis on either side of the Equator as in October, but a coupled cyclogenesis in the eastern part of the Southern Indian Ocean, with a system which was granted for a very short time the minimal status of moderate tropical storm (BERNARD) and another system, which did not last very long either, but more significant in term of intensity, severe tropical storm ANIKA, that developed in the South-East of the Indian Ocean.

It seems that the origin of the system which was to become BERNARD, can be traced back to November 12, when a weak low-pressure centre (estimated at 1006 hPa) was identified within the near-equatorial trough, slightly east of longitude 90°East (the boundary with the Australian area of responsibility). This

low remained well defined during the following days and could be all the more easily monitored as it evolved in a strongly easterly sheared environment. Shifting in a general west-southwesterly direction it was thus situated around 8.7S/81.7E in the morning of the 15th, sitting in the middle of a completely exposed vortex of low clouds.

But then it tended to disappear, visually first, as, in relation with the kick off of the MJO pulse, convection began to develop powerfully, quickly covering the whole area extending from the Chagos Archipelago to the outskirts of Sumatra and thereby masking the low level clouds. And if the low remained still discernible in the evening on the scatterometer wind data derived from the QuikScat orbit, such was not really the case on the following morning: the next swath did not detect any more closed low-pressure circulation within the area of weak winds associated with the near-equatorial trough.

One had to wait two days to see the situation become a little clearer (on November 18th). A low-level circulation centre could be identified again, according to the scatterometer data acquired from the Ascat morning swath, some 600 km in the east-southeast of the island of Diego Garcia. It could then be visually spotted on the satellite imagery, owing to a small cloud comma which became better and better defined as the afternoon went by and which clearly materialized the centre of the clockwise circulation. It was difficult to decide for certain whether it was a new low or the revival of the previous monitored one. But, although it admittedly

considerably slowed down, its location in the continuity of the earlier track led one to consider the second option as plausible.

The fact remains that the future prospects of that low appeared definitely more favourable than before. On surface already, the well-established westerly flow which had prevailed up to then equatorward, had turned northwesterly and now converged more directly with the trade winds present to the south of latitude 10°South, in a configuration which henceforth matched a monsoon trough pattern. The evolution was even more positive at high altitude: the embryonic disturbance was lying beneath the northern fringes of a relatively narrow and zonally oriented upper troposphere ridge whose axis stood slightly to the south of latitude 10°South. That ridge delimited a small band of a few degrees of latitude wide where upper divergence was good and where vertical windshear was minimal (whereas it was strong to the north and was soon going to strengthen to the south).

EVOLUTION

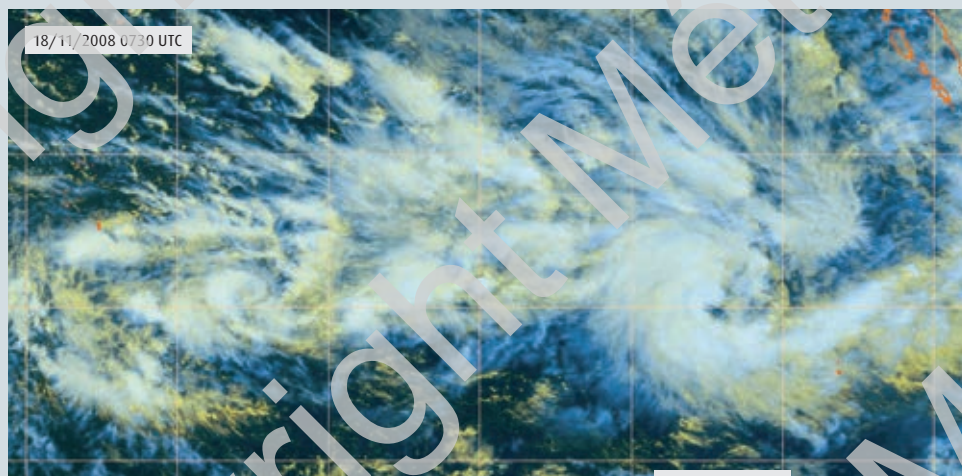
From the broad zone of disturbed weather, which spread from the Chagos to the Indonesian waters, two low-pressure systems would emerge, as some 1700 km farther to the east, another disturbance had begun to become organized. And in fact it was the cyclogenesis of the latter which was the first to take shape, since it was classified at the moderate tropical storm stage around midday on November 19 (TS ANIKA). For the system situated farther to the west, the evolution was not so efficient and it was only granted the status of mere tropical depression at the same time.

Since the day before, it had begun to jog eastward. But it noticeably accelerated during the next 24h, from a speed of less than 10 km/h to more than 40 km/h.

That eastward run, rather unusual at the beginning of the season, could be explained by the presence in mid-troposphere of a cell of high geo-potentials located near the equator and to the west of Indonesia. On its southern side, it directed a powerful steering westerly flow east of the Chagos,

within which the meteor was carried along. In the upper levels, the flow was more northwesterly oriented. It did not remain vertically homogeneous long enough to avoid a strengthening of ventilation across the disturbance (whose small size made it more vulnerable to this factor). So that the time window favourable for intensification already closed at the end of the night of the 19th to the 20th. And as the evolution had remained most laborious in the meantime, it was a system barely ranked at the minimal stage of moderate tropical storm which began to become dismantled before the end of the 20th. It quickly filled up during the following night and at the dawn of November 21st, ex-BERNARD was dissipating for good when its residual low was about to cross longitude 90°East.

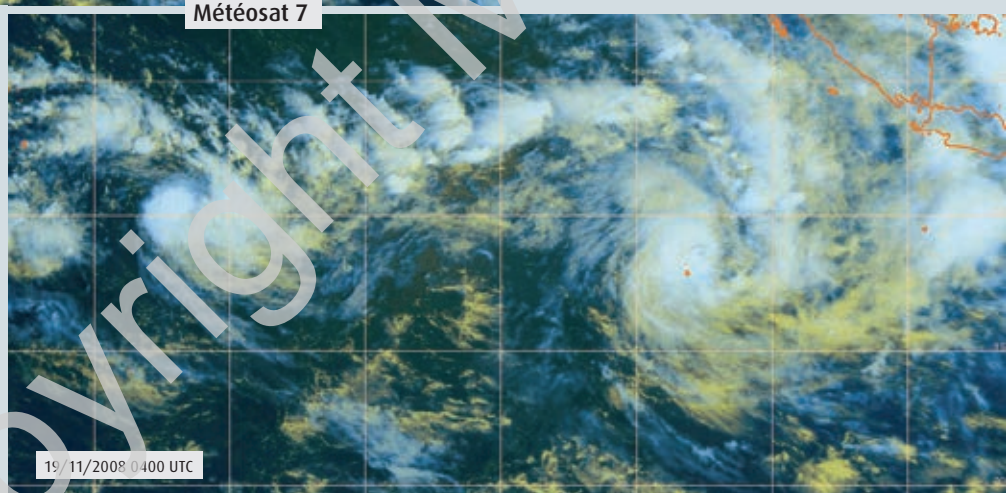
BERNARD had eventually maintained for about twelve hours the minimal stage of moderate tropical storm and was hence only a marginal epiphenomenon, no doubt the least memorable of the season.



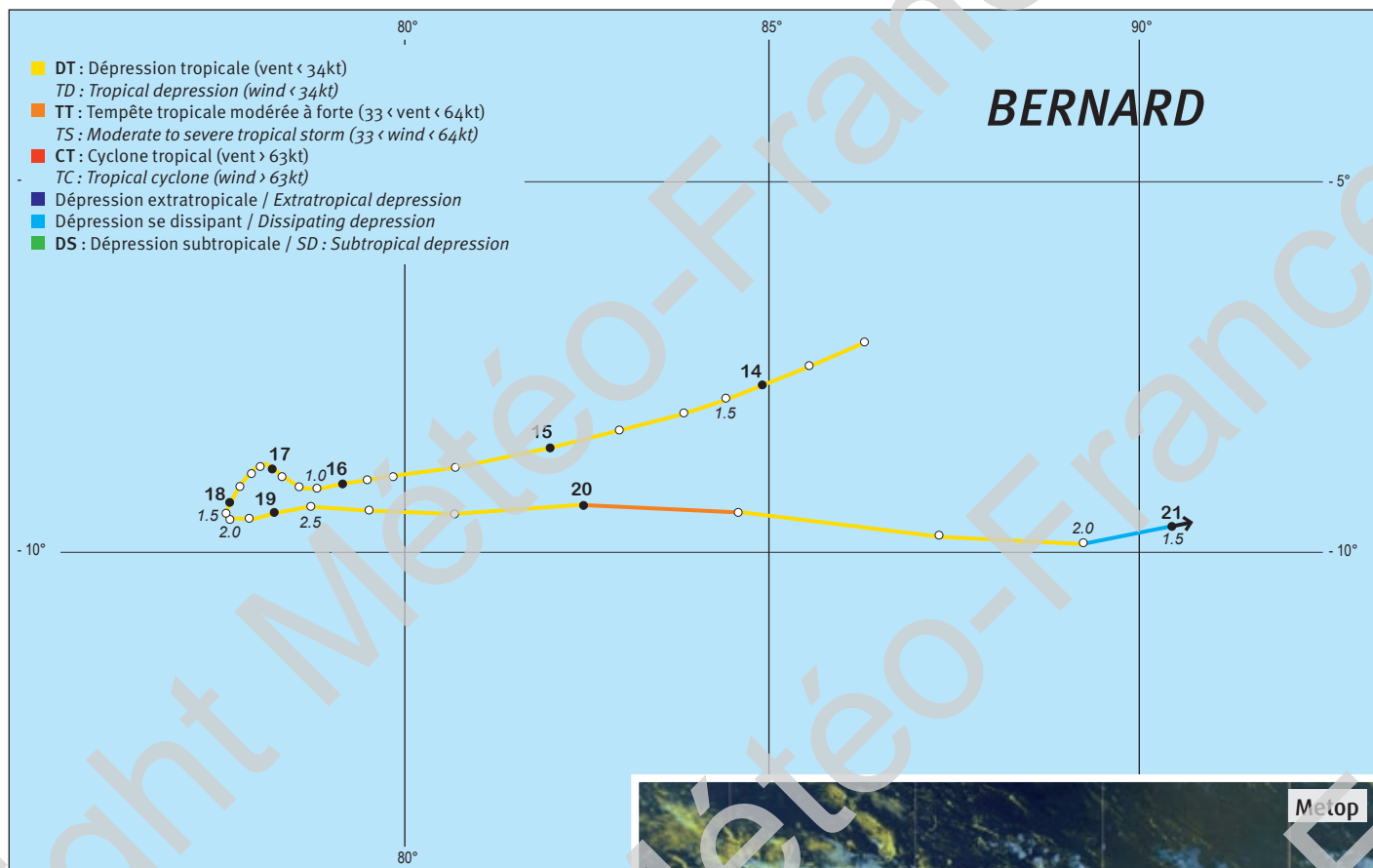
Cyclogenèses des tempêtes tropicales BERNARD et ANIKA sur la partie est de l'océan Indien. Si le duo de perturbations, toutes deux à la même latitude, est encore en gestation le 18, tout est désormais en place pour une cyclogenèse jumelée. L'épanchement des cirrus (nuages bleutés), signe en particulier clairement la présence d'une dorsale d'altitude relativement étroite axée au voisinage du 10ème parallèle Sud, siège d'une divergence d'altitude favorable et d'un minimum de cisaillement vertical de vent.

Le lendemain, le gain d'organisation est évident et les cyclogenèses peuvent être considérées comme effectives. C'est net pour le système le plus à l'est, désormais analysé en tempête tropicale modérée (et en conséquence nommée ANIKA par le Centre de Perth), alors qu'il transite au nord-est de l'île Cocos ; un peu moins pour le système de l'ouest, qui vient toutefois d'être classé en dépression tropicale.

Cyclogenèses of tropical storms BERNARD and ANIKA in the eastern part of the Indian Ocean. If the duo of disturbances, which both evolved at the same latitude, was still in the making on November 18, everything was then ready for a twin cyclogenesis. The fanning of the cirrus (bluish clouds), clearly indicated, in particular, the presence of a relatively narrow zonally oriented upper ridge centred near latitude 10°South, the seat of favourable upper divergence and of minimal vertical windshear. On the following day, the organisation had obviously improved and the two cyclogenèses could be considered as effective. It was clear for the system situated the farthest in the east, now analysed as a moderate tropical storm (and therefore named ANIKA by the Meteorological Centre of Perth) as it was transiting to the northeast of the Cocos Island ; it was less obvious for the other westernmost system which, nevertheless, had just been ranked as a tropical depression.

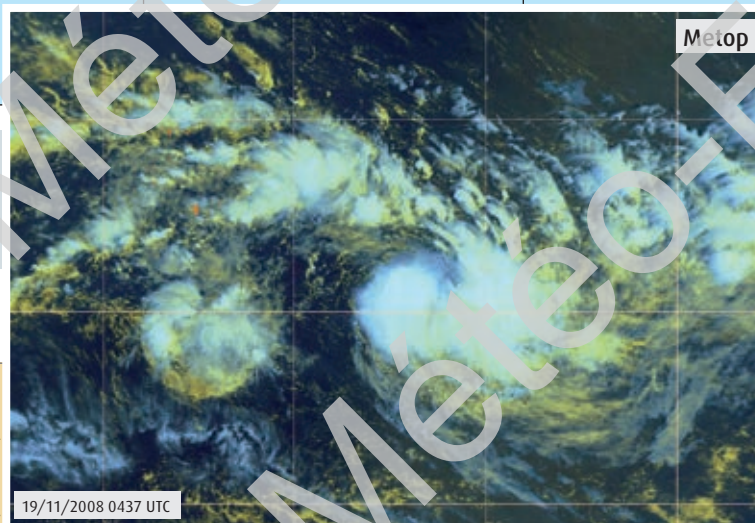


Météosat 7

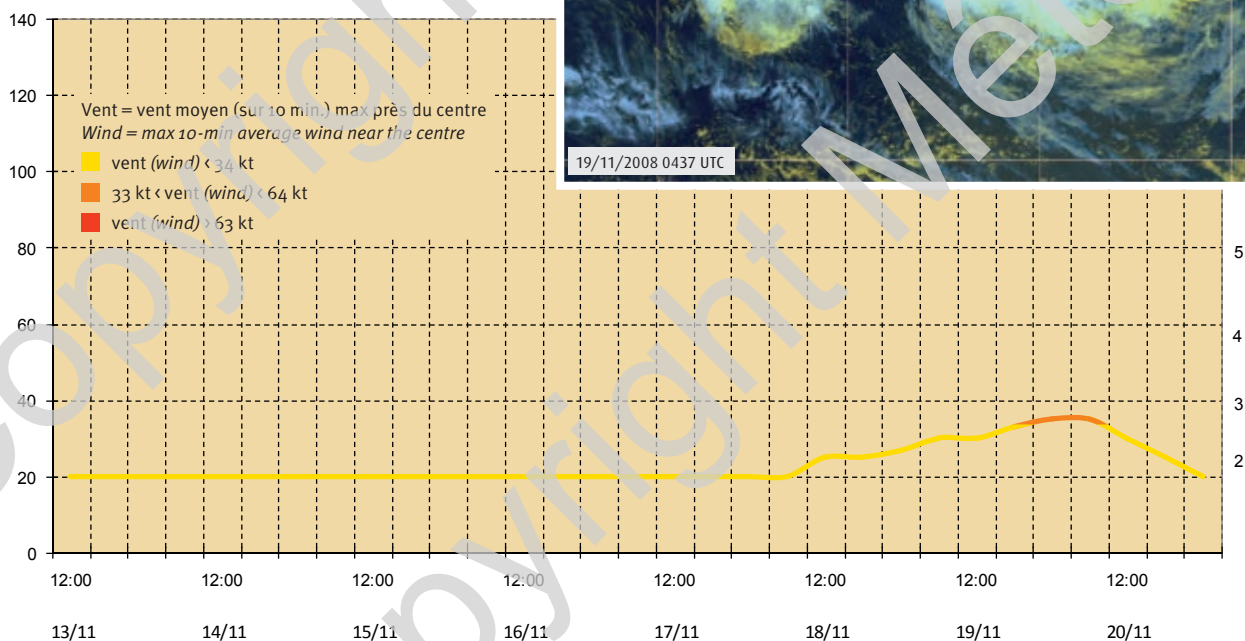


Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Cyclogenèse du futur BERNARD au sud-est de l'archipel des Chagos.
Le météore sera classé peu après cette image en dépression tropicale.
Cyclogenesis of future BERNARD in the southeast of the Chagos Archipelago.
The meteor was classified, just after this picture was acquired, as a tropical depression.



BERNARD DU 13/11 AU 21/11/2008



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)

Cinda

Forte Tempête Tropicale

du 13 au 24 décembre 2008

Severe Tropical Storm "Cinda" (13-24 December 2008)



FORMATION

Début décembre 2008, la situation est plutôt calme sur le Sud-Ouest de l'océan Indien. Le flux de mousson est encore à peu près inexistant et le bassin demeure en configuration de pré-saison, avec un talweg proche-équatorial peu actif, associé à une activité convective faible à modérée, comme il n'est pas illogique, compte tenu de la phase sèche de la MJO qui prévaut alors.

Au sein du talweg proche-équatorial, un minimum de pression, alors estimé à 1008 hPa, arrive le 13 décembre au sud-est de Diego Garcia. Suivi depuis déjà près d'une semaine, moment où il a pénétré sur le domaine de responsabilité du CMRS de La Réunion, il continue son bout de chemin vers l'ouest, le long de la bordure nord des hautes pressions subtropicales. L'activité convective qui lui est associée, n'a jusque là présenté aucune velléité d'organisation.

Mais à partir du 14, cela n'est plus le cas. Des débuts de courbure apparaissent au sein des éléments nuageux et un centre de circulation devient identifiable sur l'imagerie satellitaire. Les conditions environnementales sont encore loin d'être idéales, mais peuvent désormais être qualifiées de neutres : le cisaillement vertical de vent est à la baisse et la divergence d'altitude est très bonne du côté polaire, mais médiocre du côté équatorial ; il en va de même en surface, avec une alimentation au sol qui est présente du côté alizés, mais absente du côté équatorial, tandis que l'on note, pour finir, un certain déficit d'humidité en moyenne troposphère, ce qui constitue un frein au soutien de la convection.

Assez logiquement, compte tenu du constat précédent, l'évolution est lente,

mais tout de même perceptible d'un jour à l'autre. Et 48h plus tard, le 16 décembre, le gain d'organisation devient suffisant pour autoriser un classement du système en perturbation tropicale, avec une structure nuageuse qui s'apparente à une bande incurvée, mais discontinue en terme de convection.

ÉVOLUTION

A l'approche du 10ème parallèle Sud, la perturbation bénéficie désormais d'un cisaillement vertical de vent faible. Cela permet à la convection de se développer au-dessus du centre de la circulation dépressionnaire la nuit suivante. Le creusement résultant amène le météore jusqu'au stade de dépression tropicale, en fin de nuit.

Tout au long de cette même nuit du 16 au 17, la progression s'est effectuée à allure réduite – moins de 5 km/h de vitesse de déplacement – et, au matin suivant, un changement de trajectoire en direction du sud intervient, ce "décrochage" répondant à un affaiblissement du champ de pression au sud du système, consécutif à l'arrivée d'un col barométrique en moyenne troposphère.

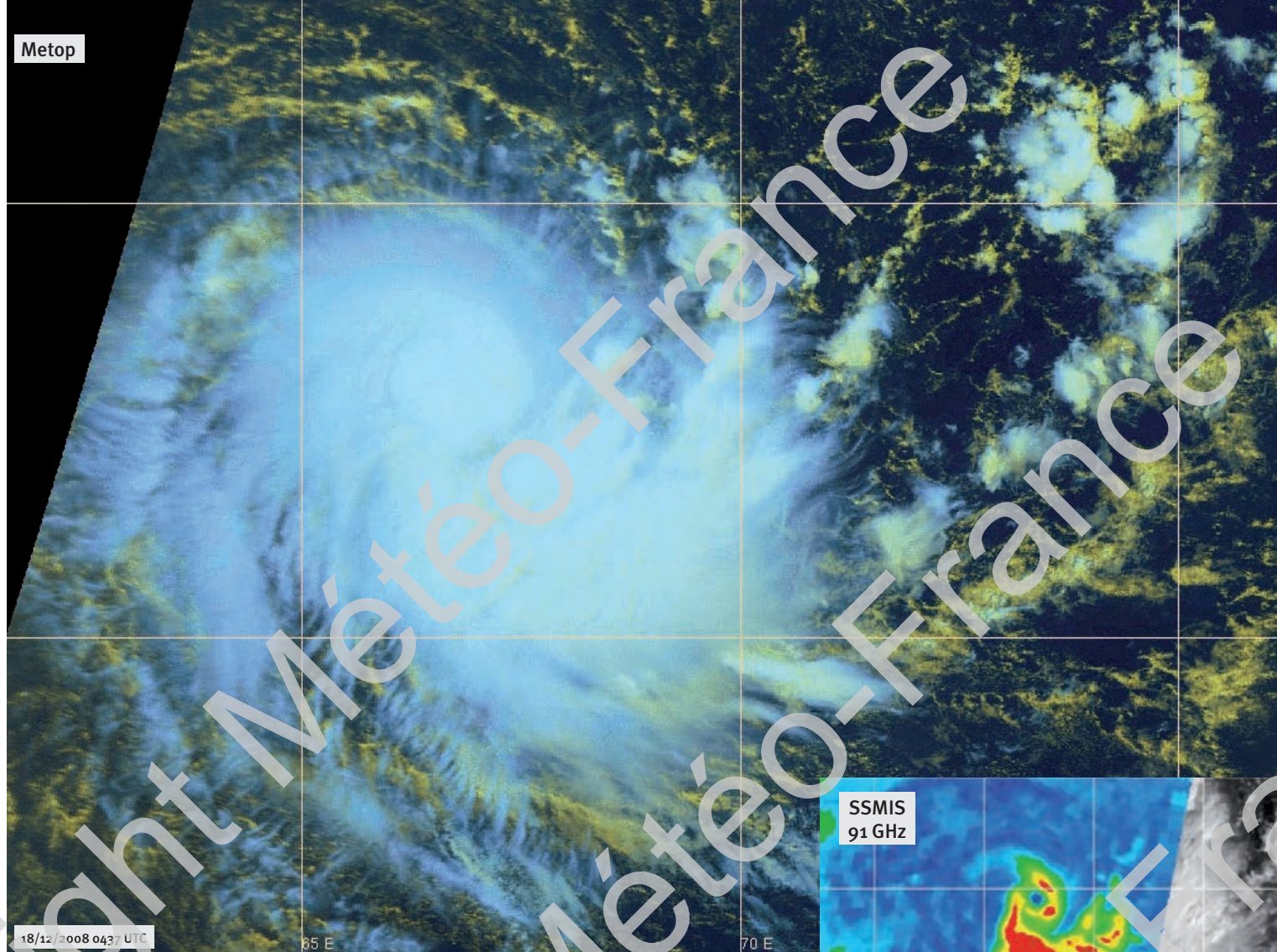
La convection est désormais établie de manière pérenne au cœur de la circulation dépressionnaire, mais, dans un premier temps, sans efficacité apparente sur l'intensité de la perturbation. Dans l'après-midi du 17, l'impact du cycle diurne de la convection se manifeste encore de manière sensible et occulte ainsi tout signe de développement éventuel que pourrait afficher le système nuageux. Rétrospectivement, il sera cependant considéré que le stade de tempête tropicale modérée a été atteint en cette fin de journée du 17.

Mais c'est en deuxième partie de nuit suivante, que l'intensification en cours va se dévoiler plus clairement, pas tant sur l'imagerie satellitaire classique, qui ne montre pas d'évolution spectaculaire, que sur l'imagerie micro-onde, qui révèle la formation d'un œil dans les couches moyennes (canaux 85/91 GHz) à l'aube du 18 (voir images pages 23-24). La signature est toutefois beaucoup moins impressionnante en basses couches, au vu de l'imagerie en canal 37 GHz, sans œil bien défini, ou ayant subi une forte érosion dans sa partie nord, et indiquant, qui plus est, un décalage entre les centres de basses couches et d'altitude, deux éléments qui dénotent un probable début de cisaillement par accroissement du flux de nord en altitude, ce qui est d'ailleurs cohérent avec la situation environnementale du météore. En poursuivant sa progression vers le sud, celui-ci a, en effet, franchi l'axe de la dorsale d'altitude et commence à empiéter sur le courant-jet qui circule le long de la bordure sud-ouest de celle-ci (et à l'avant d'un talweg situé à l'ouest), d'où un début de contrainte cisailée.

Et comme la situation ne peut aller de ce point de vue qu'en se dégradant, le phénomène, qui a reçu le nom de CINDA quelques heures plus tôt, voit ses perspectives de développement déjà mort-nées, pour ainsi dire. Il atteint de fait son pic d'intensité dès la matinée. Il est alors analysé au stade minimal de la forte tempête tropicale (vents moyen maxi sur 10 min de 50 nœuds). Le champ de vent est très dissymétrique : en l'absence de gradient du côté équatorial, l'extension des vents forts est très réduite dans le demi-cercle nord, mais 4 à 5 fois plus large, par contre, dans le demi-cercle sud. Le navire Tamarin (pétrolier ravitailleur de La Réunion), qui transite en soirée dans le quadrant sud-est de la tempête, observe d'ailleurs des vents de 45 nœuds à 90-100 km du centre.

Compte tenu de l'inertie du champ de vents, c'est peu ou prou à ce moment que le météore est estimé amorcer sa phase d'affaiblissement. Mais la déstructuration nuageuse a pour sa part débuté dès avant la mi-journée. Elle est beaucoup plus flagrante sur l'imagerie micro-onde : non seulement l'œil a disparu, mais ne subsiste déjà plus qu'un centre exposé en bordure nord d'une convection désorganisée. L'imagerie classique n'arborera cette même configuration nuageuse, caractéristique d'un cisaillement de vent modéré, que la nuit suivante.

Avec l'affaiblissement très progressif du système, via le découplage de la circulation



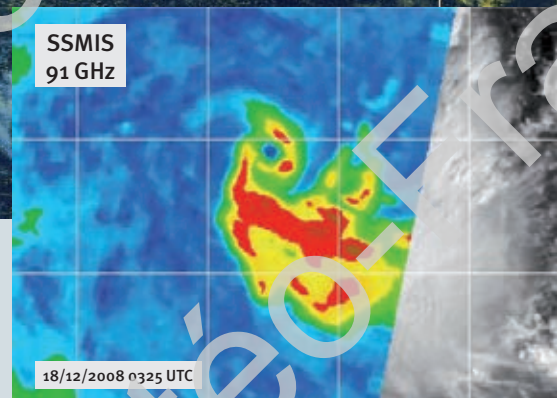
de basses couches de la convection, le flux directeur, jusqu'ici gouverné par les couches moyennes, se transfère graduellement vers les niveaux inférieurs, où les hautes pressions subtropicales sont très présentes au sud. La trajectoire de CINDA redresse en conséquence progressivement en direction de l'ouest-sud-ouest. L'enfoncement moins rapide vers le sud qui en résulte, tend à tempérer la tendance à la hausse du cisaillement vertical de vent. Le météore peut du coup résister plus durablement.

Mais même lent, le comblement est malgré tout inexorable et CINDA finit par perdre son statut de tempête tropicale en fin de nuit du 19 au 20, puis de dépression tropicale quelques heures plus tard. Le minimum résiduel, encore accompagné de puissantes bouffées de convection sporadiques, poursuit son déplacement irrégulier en direction de l'ouest-sud-ouest. Il n'est plus qu'à 1006 hPa en journée du 22, quand il passe non loin à l'ouest de l'archipel de St-Brandon. Il achève de se dissiper le surlendemain entre Tromelin et Madagascar.

Avec un comportement assez comparable à celui d'ASMA, tant en terme d'évolution que de trajectoire, CINDA revêt encore les traits d'un phénomène de début de saison.

La forte tempête tropicale CINDA au maximum de son intensité. Un "œil" vient d'apparaître sur l'imagerie micro-onde au cœur de l'amas nuageux central dense, mais ne sera que très transitoire.

Severe tropical storm CINDA at intensity peak. An "eye" had just appeared on the microwave imagery at the core of the central dense overcast, but it will only be transitory.



FORMATION

At the beginning of December 2008 the situation was rather quiescent in the South-West Indian Ocean. The monsoon flow was nearly non-existent and the basin remained in pre-season configuration, with a hardly active near-equatorial trough, associated with weak to moderate convective activity. That situation was not illogical, as a dry phase of the MJO was then prevailing. Within the near-equatorial trough, a low centre, estimated at 1008 hPa, arrived on December 13 to the southeast of Diego Garcia. It had been monitored for almost a week, from the moment it had entered the RSMC area of responsibility, and went on moving westward, along the northern boundary of the subtropical high pressures. The convective activity which was associated with it had not shown any sign of organisation up to then.

But from December 14, such was no longer the case. Incipient curvature

appeared within the cloud clusters and a circulation centre could be identified on the satellite imagery. The environmental conditions were still far from ideal, but could then be considered as neutral: the vertical windshear tended to weaken and upper divergence was very good poleward, but poor on the equatorial side; the same could be said of the surface situation, with a low-level inflow which was present on the tradewind side, but absent equatorward, while, lastly, a lack of moisture could be noted in mid troposphere, which hampered the sustaining of convection.

Considering what has just been said, the evolution was slow, quite logically, but all the same perceptible from one day to the next. And 48h later, on December 16, the improvement in the organisation of the system became sufficient to rate it as a tropical disturbance, with a cloud structure similar to a curved band, but discontinuous as far as convection was concerned.

EVOLUTION

As it came nearer latitude 10°South, the disturbance then benefited from weak vertical windshear. That enabled convection to develop above the low-level circulation centre during the following night. The resulting deepening led the meteor to tropical depression status towards the end of the night.

During that same night of December 16 to 17, it progressed at reduced speed—at less than 5 km/h—and in the following morning, there was a change of heading towards the south. That sharp turn accrued from a weakening of the pressure field to the south of the system, as a result of the arrival of a barometric col in mid-troposphere.

Henceforward convection had settled on a long term basis in the core of the low-pressure circulation, but, first of all, without apparent efficiency for the intensity of the disturbance. During the afternoon of the 17th, the impact of the diurnal cycle of convection could still be noticeably felt and thus overshadowed all sign of possible development that the cloud system could exhibit. In retrospect, it was however considered that the stage

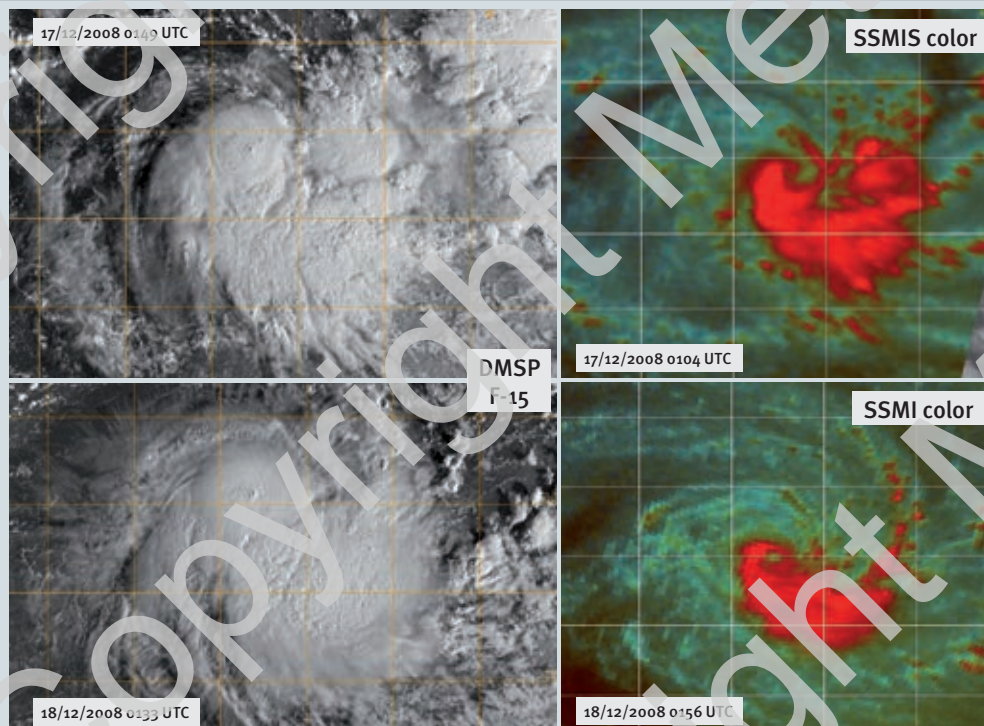
of moderate tropical storm was reached towards the end of the day of 17th.

But it was during the second part of the following night that the intensification under way was more clearly revealed, not so much on the classical satellite imagery that did not show any spectacular evolution, as on the microwave imagery, which displayed the formation of an eye in the mid-levels (85/91 GHz channels) at the dawn of the 18th (see images pages 23-24). Yet, the signature was far less impressive in the lower levels, as the 37 GHz microwave imagery did not show any well-defined eye, or an eye feature having had been strongly eroded in its northern part, indicating, moreover, that there was a shift between the low and upper level centres. Those two elements (the vertical tilt and the northerly erosion) evidenced that windshear had likely started to affect the system through the increase of the upper northerly flow, which, besides, was consistent with the environmental situation of the meteor. As it went on tracking southward, the latter had actually crossed the axis of the upper ridge and began to encroach upon the jet stream which flowed along the southwestern boundary of that ridge (and

in front of a trough situated to the west), hence an incipient sheared constraint. And as the situation could not but deteriorate from that point of view, the development prospects of the phenomenon which had been named CINDA a few hours earlier, were already stillborn, so to speak. It actually reached its intensity peak in the morning. It was then analysed at the minimal stage of severe tropical storm (maximum 10-min average winds of 50 knots). The wind field was very asymmetric: in the absence of a gradient on the equatorial side, the extension of strong winds was very limited in the northern semi-circle, but 4 to 5 times as wide, on the contrary, in the southern semi-circle. Besides, the ship *Tamarin* (an oil tanker that supplies La Réunion), which was cruising in the southeast quadrant of the storm towards the evening, observed 45 knots winds at a distance of 90 to 100 km from the centre. Considering the inertia of the wind field, it was more or less at that moment that the meteor was estimated to be initiating its weakening phase. But the decay of the cloud structure had started earlier, before midday. It was much more striking on the microwave imagery: not only had the eye disappeared, but already there only remained an exposed centre on the northern boundary of a disorganized convection. The classic imagery would display that same cloud configuration, typical of moderate windshear, only during the following night.

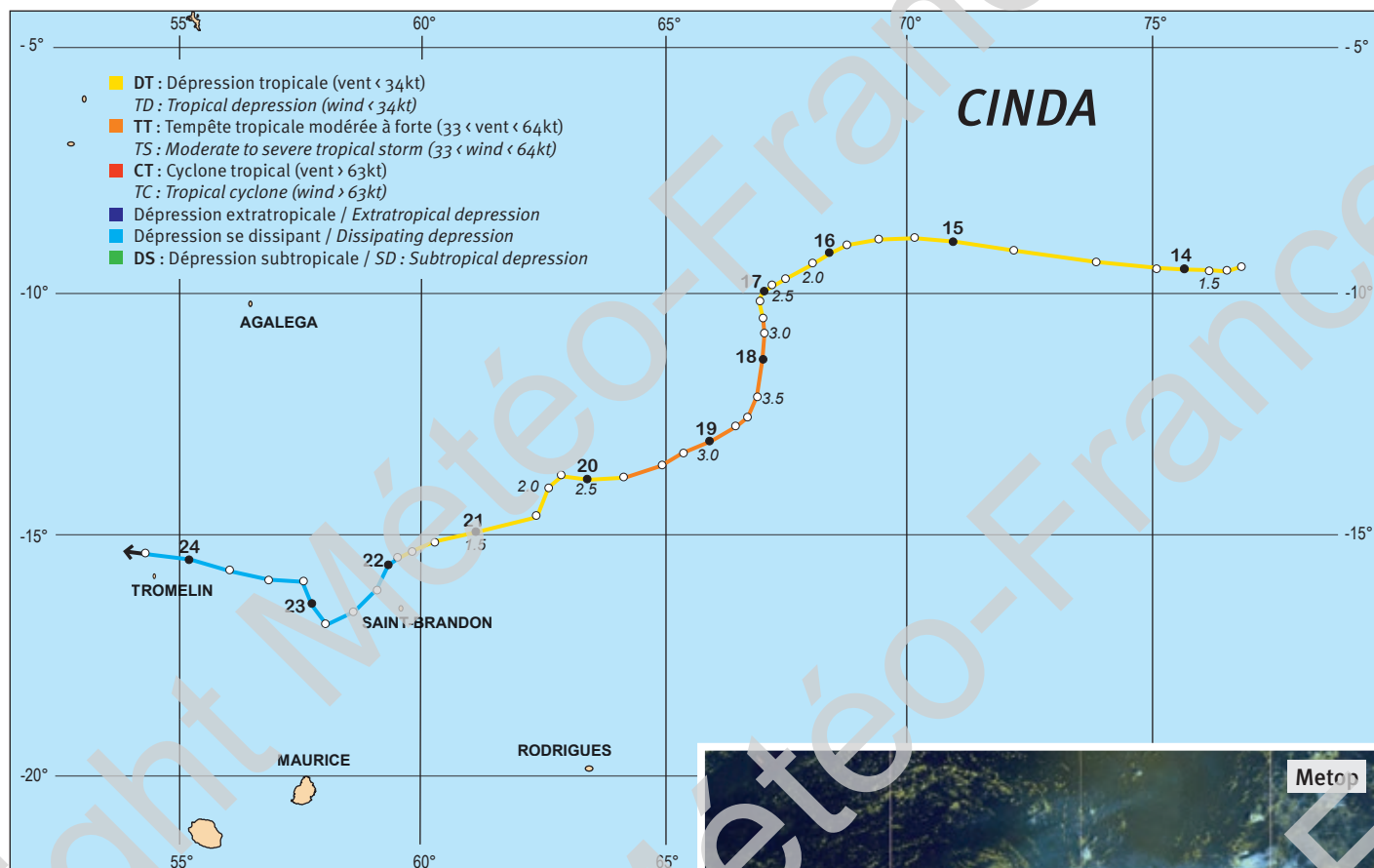
Along with the very progressive weakening of the system, through the decoupling of the low-level circulation centre from the convection, the steering flow, up to then ruled by the mid levels, was gradually transferred to the lower levels, where the subtropical high pressures were solidly established in the south. Consequently CINDA's track progressively straightened up west-southwestward. The resulting slower southward descent, tended to milden the increasing trend of the vertical windshear. As a result the meteor could resist for a longer time.

But, however slow, the decay was inexorable and CINDA eventually lost its status as a tropical storm by the end of the night of the 19th to 20th, then as a tropical depression a few hours later. The residual low, still accompanied by sporadic but powerful outbursts of convection, kept tracking west-southwestward in an irregular way. It has filled to 1006 hPa on December 22, as it passed nearby to the west of the St Brandon Archipelago. It finished dissipating two days later between Tromelin and Madagascar. With a behaviour quite similar to ASMA's, both in terms of evolution and track, CINDA can still be considered as an early season phenomenon.



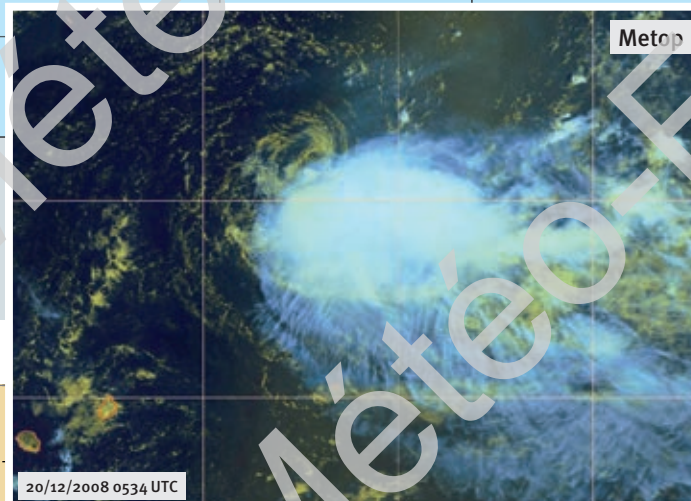
La puissance de l'imagerie micro-onde. Sur ces images acquises à environ 24 h d'intervalle lors de la phase d'intensification de CINDA, on peut voir tout l'apport de l'imagerie micro-onde, en l'occurrence déterminante pour estimer au mieux l'intensité réelle du météore. Alors que l'imagerie visible ne dénote qu'une évolution marginale, avec un gain d'organisation plutôt ténu au niveau de la structure nuageuse du système, l'imagerie micro-onde révèle par contre une amélioration spectaculaire de la structure interne de la perturbation, avec la formation d'un œil embryonnaire en début de journée du 18.

The power of microwave imagery. On these images received after an interval of about 24 hours during CINDA's intensification phase, one can measure the value of the microwave imagery, whose contribution was definitely decisive in this case, to better assess the real intensity of the meteor. Whereas the visible imagery let assume only a marginal evolution, with a rather limited gain in organisation for the cloud structure of the system, the microwave imagery showed a spectacular improvement of the inner structure of the disturbance, with the formation of an eye-like feature at the beginning of December 18th.

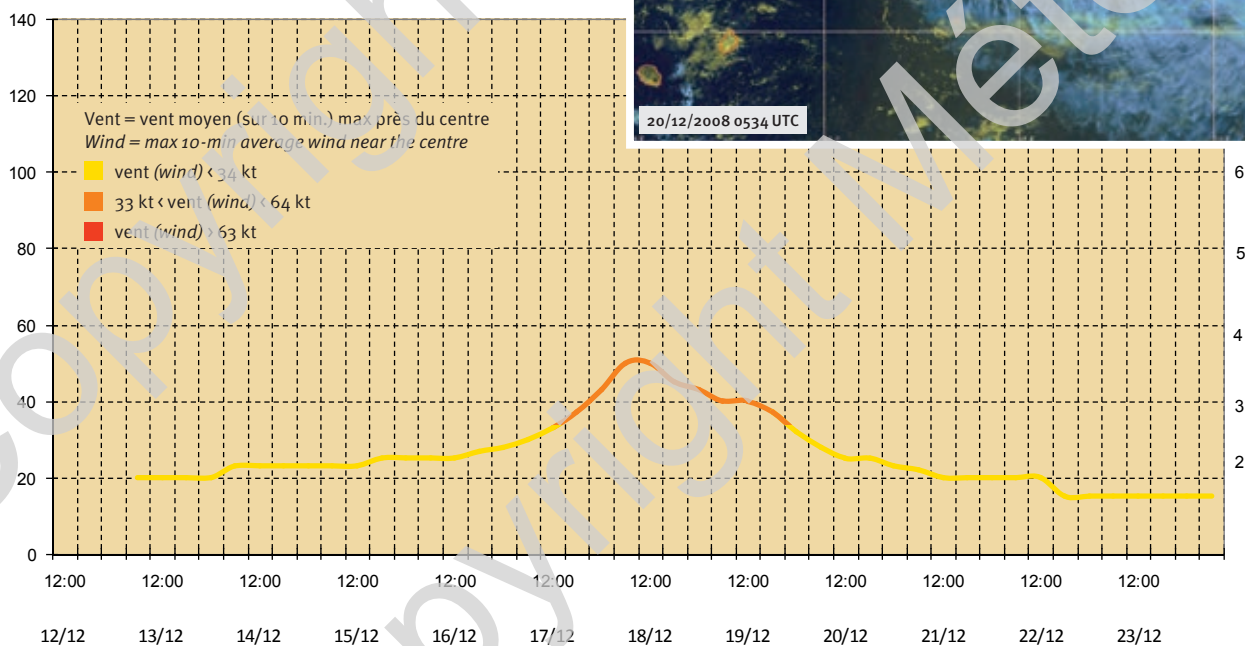


L'ex-CINDA en voie de comblement, loin au nord de l'île Rodrigues. Encore classé en dépression tropicale, le météore subit l'impact de vents de nord à nord-ouest en altitude, avec un centre cisailé qui apparaît exposé en bordure de la convection résiduelle.

Ex-CINDA while filling up, far to the north of Rodrigues Island. Still ranked as a tropical depression, the meteor was undergoing the impact of northerly to northwesterly winds in altitude with the sheared centre appearing exposed on the edge of the residual convection.



CINDA DU 13/12 AU 24/12/2008



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

Dongo

Forte Tempête Tropicale

du 13 au 24 janvier 2009

Severe Tropical Storm "Dongo" (13-24 January 2009)



FORMATION

Le début de saison a été l'occasion d'évoquer à plusieurs reprises l'oscillation de Madden-Julian (MJO) et son influence sur les cyclogenèses (d'ASMA, BERNARD, ANIKA). Mais s'il est prouvé que les phases humides de la MJO favorisent la formation de systèmes dépressionnaires tropicaux, les phases sèches ne signifient pas, a contrario, suppression du risque de cyclogenèse, mais seulement probabilité d'occurrence moindre. Et quand on arrive vers le cœur de la saison cyclonique, comme en janvier-février dans l'hémisphère Sud, où la norme climatologique implique un risque élevé de cyclogenèse, alors risque atténué devient loin d'équivaloir avec risque négligeable. Il est donc tout à fait possible pour un système dépressionnaire de se former même en pleine phase d'inactivité de la MJO. La cyclogenèse de la tempête tropicale DONGO en est une illustration.

Cette cyclogenèse va, il est vrai, être facilitée par le fait que le signal de cette phase sèche de la MJO n'est pas très puissant. Et si l'activité convective est effectivement estimée moindre que la normale en ce début janvier 2009 (si l'on se base, en tout cas, sur ce que disent les données d'OLR, qui permettent de la quantifier indirectement), cela ne saute pas aux yeux sur l'imagerie satellitaire. La convection y apparaît, en effet, tout sauf absente, avec en particulier une Zone de Convergence Intertropicale – désormais établie sur le bassin – plutôt bien balisée sur l'imagerie, par une succession d'amas nuageux convectifs, qui sont majoritairement présents du côté équatorial de la ZCIT. Positionnée au voisinage du 10^{ème} parallèle Sud, cette ZCIT n'est pas en phase avec la dorsale

d'altitude, axée elle vers 15°Sud, ce qui la situe dans une zone soumise à un fort cisaillement vertical de vent d'est.

Un contexte a priori défavorable à la cyclogenèse donc..., mais qui n'empêche toutefois pas les modèles numériques de s'accorder à pronostiquer la formation d'un système dépressionnaire dans le secteur sud des Chagos avant la fin de la première décade de janvier, et ce consécutivement à un renforcement de l'alizé du côté sud et à une baisse progressive du cisaillement. Les conditions de cette cyclogenèse restent cependant assez floues et diffèrent d'un modèle à l'autre, ou d'un run de prévision à l'autre, avec deux options possibles : formation "endogène" à partir d'un minimum émergeant au sein de la ZCIT, ou "exogène", par ré-intensification de l'ex-BILLY.

BILLY était à l'origine un ancien cyclone, développé une quinzaine de jours auparavant (avant Noël 2008) au nord-ouest de l'Australie. Une fois comblé, son minimum dépressionnaire résiduel a ensuite été transporté vers l'ouest sur plusieurs milliers de km. Ayant franchi le 90^{ème} méridien Est dans la nuit du 3 au 4 janvier, sa trace est encore visible le 6 au matin, à quelque 800 km au sud-est de Diego Garcia. Vidé de toute convection persistante et coupé de l'alimentation de mousson en basses couches, il apparaît plus en voie de dissipation qu'autre chose. Difficile donc de créditer ce système à l'agonie d'un quelconque potentiel de ré-intensification. Et de fait, ce n'est effectivement pas lui qui va être le géniteur du futur DONGO, même si sa présence a pu participer indirectement de la cyclogenèse à venir.

Au petit matin du 7, tandis que les résidus de l'ex-BILLY deviennent de plus en plus évanescents, les vents diffusio-

métriques de l'orbite QuikScat indiquent la formation d'un tout petit minimum dépressionnaire au voisinage du 10^{ème} parallèle Sud, en marge méridionale de la poussée de flux de mousson analysée à l'ouest des Chagos. Superposée à l'imagerie satellitaire, la structure du champ de vents apparaît cohérente et bien appréhendée par QuikScat (voir images page 28), qui confirme cette vision de la situation en fin de journée, lors de son orbite suivante. A ceci près que les deux centres d'action ont commencé à orbiter l'un autour de l'autre dans le sens cyclonique, dans un mini effet Fujiwara.

Aspiré dans le sillage de l'ex-BILLY, désormais réduit à une simple ondulation en bordure nord du courant d'alizé, le minimum issu de la ZCIT se décale ainsi vers l'est-sud-est dans un premier temps, puis vers le sud-est, ce qui le dirige droit au contact des alizés, dont il était auparavant déconnecté du fait de la présence "tampon" de l'ex-BILLY, qui lui cède maintenant la place de part son décalage vers l'ouest (tout en poursuivant sa lente dissolution). Avec la connexion ainsi établie avec le flux d'alizés, la convergence de basses couches enregistre un coup de fouet. L'impact est visuellement immédiat au matin du 8 : la convection, boostée, s'est développée spectaculairement par rapport à la veille, avec une organisation tourbillonnaire qui s'est dans le même temps sensiblement affirmée. Ce gain d'organisation du système lui vaut d'être classé en perturbation tropicale.

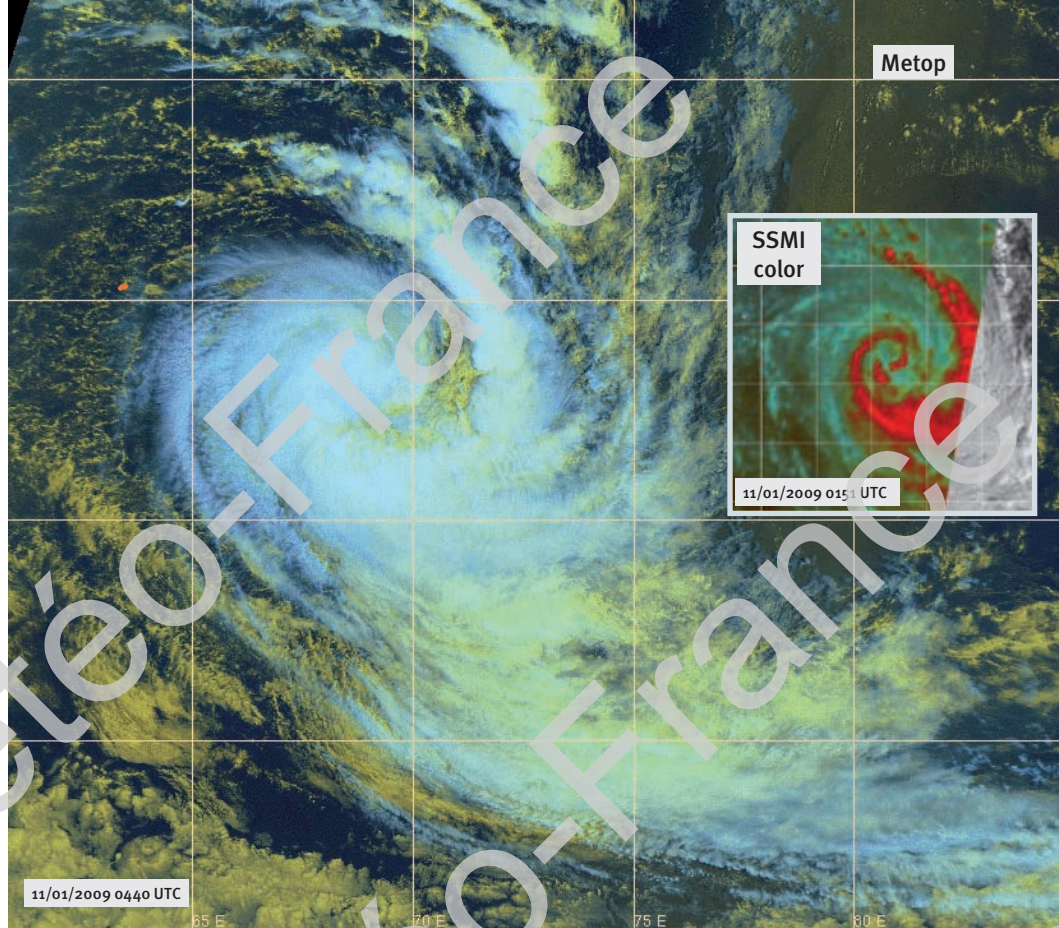
Le mouvement giratoire, concrétisation directe de l'effet Fujiwara en cours, s'accélère vigoureusement dans l'après-midi du 8 janvier au contact de la dorsale subtropicale (déplacement à plus de 25 km/h), avec incurvation en direction du sud-ouest. Au terme de la demi-boucle ainsi effectuée (qui marque également la fin de l'interaction binaire avec les restes de BILLY, désormais en voie d'absorption au sein de la circulation principale), le minimum se retrouve au sud du 15^{ème} parallèle Sud, mais toujours en marge nord-ouest de la dorsale d'altitude, dont l'axe a entre-temps reflué vers 18°Sud. Conséquence : le cisaillement vertical de vent a certes baissé, mais pas encore suffisamment pour permettre un développement sans contrainte du système.

L'évolution demeure donc lente. Au matin du 9, la convection a même perdu en importance par rapport à la veille, mais avec cependant la présence d'un petit amas convectif un peu plus persistant en phase avec le centre de la circulation dépressionnaire, qui apparaît par contre beaucoup mieux défini sur l'imagerie satellitaire. Une orbite Ascat (diffusiomètre embarqué à bord du satellite Metop) indique la présence de grand frais, mais sur une petite partie de la circulation dépressionnaire seulement. Au vu de tous ces éléments, on peut considérer que le stade de dépression tropicale est atteint – péniblement – avant la mi-journée. Voyant dans le système une menace potentielle pour l'île Rodrigues, distante de moins de 600 km désormais et en direction de laquelle la trajectoire orientée sud-ouest pointe toujours, le Service météorologique de Maurice décide de le baptiser du nom de DONGO en début d'après-midi (à 10 utc).

ÉVOLUTION

Ce baptême va s'avérer anticiper d'environ 24h le passage effectif en tempête tropicale modérée. Car l'évolution demeure toujours aussi laborieuse. Elle peut, en l'occurrence, être appréhendée de manière particulièrement précise : l'évolution du champ de vents est décrite de manière fiable par une belle succession de fauchées QuikScat et Ascat bien résolues, et, conjointement, celle du minimum de pression peut être suivie finement grâce à la présence opportune d'une bouée dérivante idéalement située et qui va demeurer pendant ces quelque 24h à proximité du centre dépressionnaire.

La comparaison des deux est d'ailleurs des plus instructives. Il apparaît, en effet, que durant ce laps de temps, le minimum de pression va baisser significativement (de 6 à 7 hPa), pour un accroissement de la force maximale des vents moindre que ce à quoi l'on aurait pu s'attendre, ou avec un ajustement des vents au minimum de pression centrale à tout le moins décalé dans le temps. L'inertie la plus importante va être observée en première partie de période, i.e. jusqu'en matinée du 10 : alors que la baisse de pression est déjà bien amorcée (pression centrale légèrement inférieure à 995 hPa), le champ de vent dérivé des données diffusiométriques QuikScat reste dans la continuité de l'orbite Ascat de la nuit (et des orbites antérieures), n'affichant qu'une évolution marginale. Les vents maximaux n'excèdent toujours pas les 30 nœuds et le grand frais fait encore défaut sur une partie de la circulation dépressionnaire. Dans le



Belle structure en bande incurvée pour la forte tempête tropicale DONGO au maximum de son intensité dans l'est-sud-est de l'île Rodrigues.

Nice curved band pattern for severe tropical storm DONGO at its maximum of intensity to the east-southeast of Rodrigues Island.

FORMATION

The beginning of the season motivated to mention several times the Madden-Julian oscillation (MJO) and its influence on the cyclogenesis (of ASMA, BERNARD and ANIKA). But if it has been proved that the moist phases of the MJO favour the formation of tropical low-pressure systems, it does not mean that during the dry phases all risks of cyclogenesis are eliminated, it is only less likely to occur. And around the height of the cyclone season, as in January-February in the Southern hemisphere, when the climatological norm implies a high level of cyclogenesis potential, a lesser risk is then far from being equivalent to a negligible risk. It is hence quite possible for a low-pressure system to form even when the MJO is totally inactive. The cyclogenesis of tropical storm DONGO is a good illustration of this. That cyclogenesis was certainly facilitated by the fact that the signal of the dry phase of the MJO was not very powerful at the time. And whereas the convective activity was actually estimated weaker than normal at the beginning of January 2009 (relying on the OLR data, which quantify it indirectly), it was not obvious on the satellite imagery. Convection was indeed anything but absent, with in particular an Intertropical Convergence Zone (ITCZ) – henceforth established

across the basin – rather clearly depicted on the imagery by a succession of convective cloud clusters, which were mainly present on the equatorial side of the ITCZ. Positioned in the vicinity of latitude 10°South, that ITCZ was not in phase with the upper ridge, whose axis stretched along latitude 15°South, and was therefore situated in an area subjected to strong easterly vertical windshear. Hence a context that seemed unfavourable to cyclogenesis..., but that did not prevent the numerical models from agreeing on forecasting the formation of a low-pressure system in the southern sector of the Chagos before the end of the first decade of January, following upon a strengthening of the trade winds to the south and a gradual lessening of the windshear. Yet the conditions of that cyclogenesis remained rather unclear and differed from one model to the other, or from one run of forecast to the other, with two possible options : either an "endogenous" formation from a low emerging within the ITCZ, or "exogenous", through the re-intensification of ex-BILLY. Originally BILLY was a former cyclone, which developed about a fortnight earlier (before Christmas 2008) to the northwest of Australia. Once filled, its remnant low was then carried along westward over thousands of km. After crossing longitude 90°East during the night of 3 to

4 January, its trace was still visible on the morning of the 6th, some 800 km to the southeast of Diego-Garcia. Void of any persistent convection and cut off from the low-level monsoon flow, it seemed to be doomed to dissipate more than anything else. It was then difficult to credit that system at the point of death with any re-intensification potential. And in fact, it was not responsible for begetting what was to become DONGO, even if its presence might have indirectly played a part in the cyclogenesis to come.

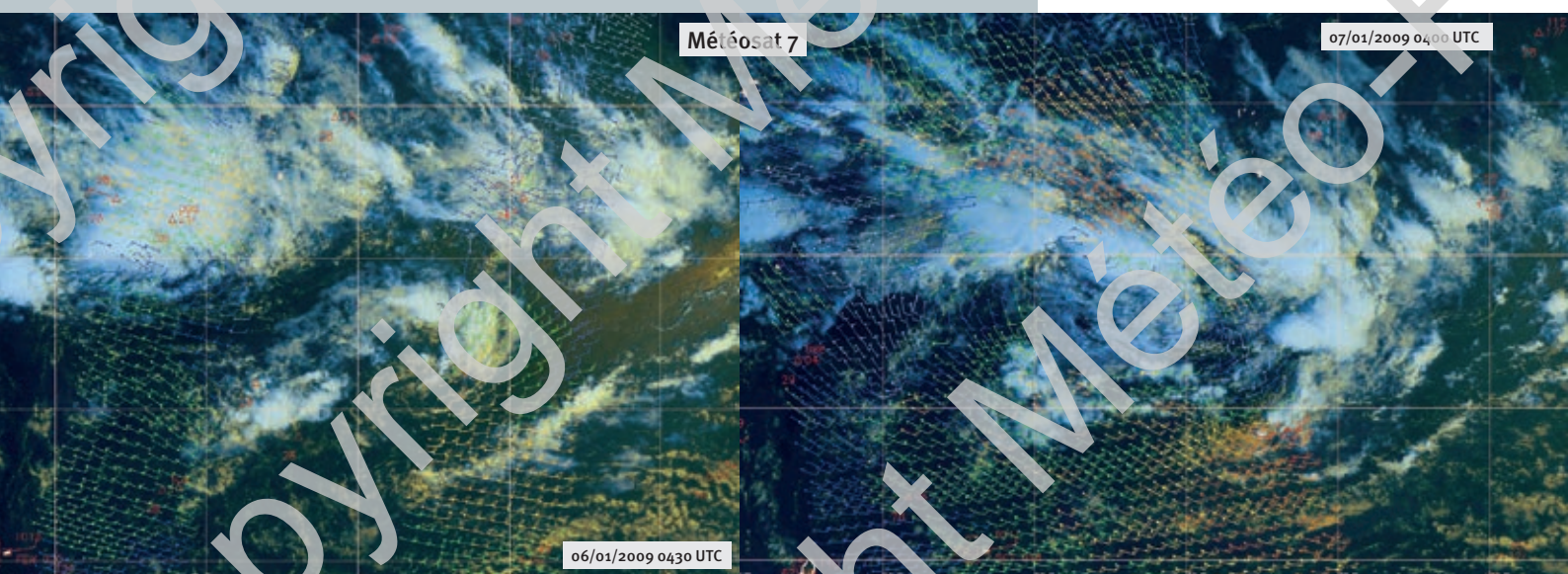
Early in the morning of 7 January, while ex-BILLY's residual clouds were gradually vanishing, QuikScat scatterometer wind data indicated the formation of a very small low in the vicinity of latitude 10°South, on the southern fringe of the monsoon surge analysed to the west of the Chagos Archipelago. Superimposed on the satellite imagery, the structure of the windfield appeared to be coherent and well apprehended by QuikScat (see pictures below), which confirmed that vision of the situation towards the end of the day, on its next orbit. Except that the two features have begun to orbit around each other, clockwise, in a mini Fujiwara effect.

Sucked in the wake of ex-BILLY, henceforth reduced to a mere wave on the northern edge of the trade wind flow, the monsoonal low shifted thus first towards the east-southeast, then the southeast, which directed it straight towards the trade winds, from which it had been disconnected before due to the presence of ex-BILLY (acting as a buffer zone), which now gave way to it by keeping on moving westward (while continuing to fade slowly). With the connection thus established with the trade wind flow, low-level convergence was given a boost. The impulse was visually almost instantaneous on the morning of the 8th : convection displayed a spectacular development compared to the day before, with a swirling organization which has notably asserted itself meanwhile. That improvement in the organization of the system earned it to be ranked as a tropical disturbance. The rotating motion, a direct effect of the ongoing Fujiwara interaction, vigorously sped up during the afternoon of 8 January as the disturbance had now come in contact with the subtropical ridge. Moving at more than 25 km/h, with a southwestward bending of its trajectory,

même temps, l'élément le plus marquant concernant le système nuageux associé au météore, est l'absence de convection au-dessus du centre : depuis la disparition du petit amas central de la veille, la configuration nuageuse s'apparente à une pseudo-bande incurvée, mais non structurée de manière homogène.

Mais un autre fait d'importance est survenu en fin de nuit du 9 au 10, à savoir un changement de trajectoire, assez radical en l'occurrence. Précédé d'un ralentissement du déplacement, il s'est en effet opéré quasiment à angle droit, le météore obliquant en direction du sud-sud-est, à 440 km au nord-est de Rodrigues. La dorsale subtropicale s'est effacée au sud, pour laisser place à un col barométrique, tandis qu'un talweg d'altitude se présente au sud-ouest. Cette configuration explique l'établissement d'un flux directeur de nord-nord-ouest. La dépression reprend ensuite de la vitesse en cours de journée du 10.

La conséquence première de la modification du déplacement a été d'accélérer le rapprochement de l'axe de la dorsale d'altitude. Le cisaillement vertical de vent devient ainsi minimal à la mi-journée,



Pré-génèse de DONGO. Sur ces deux images successives, acquises à quelque 24h d'intervalle et superposées respectivement à l'orbite Ascet (radar diffusiomètre à double fauchée à bord du satellite européen Metop) du 6 janvier à 0426 utc et à l'orbite QuikScat (radar diffusiomètre à bord du satellite SeaWinds) du 7 janvier à 0156 utc, on peut appréhender le contexte initial qui a préparé le terrain pour la cyclogénèse de la future tempête tropicale DONGO.

Le 6, la ZCIT se présente sous la forme d'un axe de cisaillement entre flux d'alizé et de mousson au sud-ouest de Diego-Garcia, tandis que les résidus de l'ex-cyclone BILLY arrivent au sud-est. Le lendemain, ce qu'il en reste se limite à une ondulation du champ de vents sur la face nord des alizés, prolongeant par un effet de talweg une zone de basses pressions, dans la partie nord de laquelle QuikScat analyse une micro-circulation dépressionnaire (en marge du flux de mousson et associée à un petit amas nuageux convectif). Même si le champ de vents n'est peut-être pas parfaitement résolu par QuikScat, il apparaît tout à fait crédible superposé aux éléments nuageux affichés par l'image satellite. C'est ce minimum qui, aspiré vers le sud-est dans le sillage de l'ex-BILLY, va donner naissance à la perturbation initiale du futur DONGO.

DONGO's pre-genesis. On these two successive images, acquired after an interval of some 24h and superimposed respectively on the Ascet orbit (double swath of the scattometer radar on board European satellite Metop) on 6 January at 0426 utc and on the QuikScat orbit (scattometer radar on board satellite SeaWinds) on 7 January at 0156 utc, it is possible to apprehend the initial context which prepared the ground for the cyclogenesis of the future tropical storm DONGO.

On the 6th, the ITCZ appeared as a shearline between the trade wind and the monsoon flows to the southwest of Diego-Garcia, while the residual clouds of ex-cyclone BILLY were arriving to the southeast. On the following day, what was left of ex-BILLY was a mere wave in the windfield on the northern side of the trade winds, prolonging by trough effect a low-pressure area, in whose northern part QuikScat analysed a tiny low-pressure circulation (on the edge of the monsoon flow and associated with a small convective cloud cluster). Even though the windfield was maybe not perfectly resolved by QuikScat, it appeared to be quite credible when superimposed on the cloud elements shown by the satellite image. It was this very minimum of low pressure, sucked towards the southeast in the wake of ex-BILLY, which was to give birth to the initial disturbance of future DONGO.

au franchissement du 18ème parallèle Sud. Comme dans le même temps, le flux sortant d'altitude est dynamisé par le renforcement du canal d'évacuation côté polaire consécutif au rapprochement du talweg de haute troposphère précité, les conditions environnementales sont maintenant extrêmement favorables.

Malgré cela, il va y avoir encore du retard à l'allumage – la cause en étant probablement cette déficience persistante de convection –, et l'intensification reste, dans un premier temps, toujours aussi poussive. Il faut attendre la fin de journée du 10 pour voir un début significatif d'intensification du système, une fois le stade de tempête tropicale modérée réellement atteint.

L'organisation de la structure nuageuse devient enfin patente sur l'imagerie satellitaire, micro-onde en particulier, avec cette fois une vraie et belle structure en bande incurvée qui se constitue, montrant même des signes d'évolution vers une configuration d'œil en bande au petit matin du 11 janvier. Mais cela ne pourra se réaliser. A l'image de ce qui s'est déjà produit pour ses prédécesseurs, la fenêtre de développement se referme pour DONGO et le processus d'intensification est stoppé avant d'avoir pu donner sa pleine mesure.

La tempête, dont la vitesse de déplacement augmente encore à l'avant du talweg d'altitude, se rapproche du 22ème parallèle Sud et ne va pas tarder à subir l'augmentation du cisaillement vertical de vent en marge du jet d'altitude. Le maximum d'intensité est atteint en matinée du 11, estimé équivalent à celui de CINDA, i.e. correspondant au stade minimal de la forte tempête tropicale (à noter un rayon des vents maximaux assez large).

La proximité de plus en plus pénalisante du courant-jet de nord-ouest se manifeste à partir de l'après-midi, la ventilation accrue induisant une érosion nette de la convection dans le secteur au vent du flux d'altitude, puis le démantèlement de la convection. Au matin du 12, la configuration est celle d'un système franchement cisailé, avec un vortex de basses couches exposé au nord-ouest de la convection résiduelle. Scénario classique, le météore, qui approche du 28ème parallèle Sud et arrive sur des eaux marginalement chaudes, débute alors sa phase de transition extra-tropicale, qui va être rapide.

Le rayon des vents maximaux s'élargit encore, dépassant rapidement les 100 km. Des vents de force tempête perdurent jusqu'en fin de journée, avec un comblement qui demeure limité. Même en début de journée du 13, quand ne subsiste plus que du coup de vent, le passage du centre dépressionnaire à proximité

the low thus ended completing a half-loop (which also marked the end of the binary interaction with BILLY's residual clouds, henceforth in the process of being absorbed within the main low circulation) and was now situated to the south of latitude 15°South, but still on the north-western edge of the upper ridge, whose axis had in the meantime retreated toward latitude 18°South. As a result the vertical windshear did abate, but not enough yet for the system to develop without constraint.

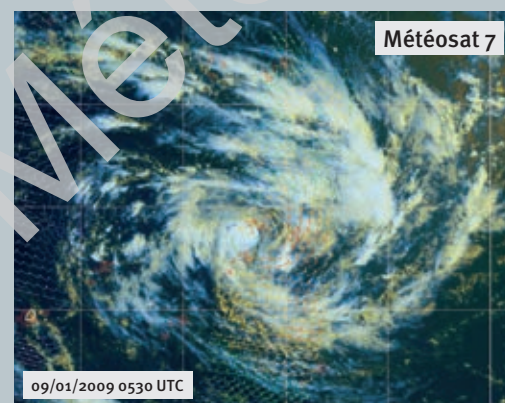
The evolution therefore remained slow. In the morning of the 9th, convection had even lost strength compared to the previous day, but with the presence of a little more persistent small convective cluster in phase with the centre of the low circulation, which for itself appeared much better defined on the satellite imagery. An Ascat swath (scatterometer on board satellite Metop) indicated the presence of near gale force winds, but on a small portion of the clockwise circulation only. Given all those elements, it was possible to consider that the stage of tropical depression had been reached – laboriously – before midday.

Seeing the system as a potential threat for Rodrigues Island, which was then less than 600 km away and in whose direction the southwesterly trajectory was still pointing, the Mauritius Meteorological Service decided to name it DONGO at the beginning of the afternoon (at 10 utc).

EVOLUTION

This naming proved to anticipate by about 24h the actual upgrading to moderate tropical storm. Because the evolution was still as laborious as before. It could, in that case, be apprehended in a particularly precise manner: the evolution of the windfield was described in a reliable way by a fine succession of well resolved QuikScat and Ascat swaths, together with that of the low which could be accurately monitored thanks to the timely presence of an ideally situated drifting buoy which was to remain near the low-pressure centre during about 24h. The compared time-evolutions of the two parameters was indeed most instructive. It actually appeared that during that lapse of time, the minimum sea level pressure was to fall significantly (a 6 to 7 hPa drop), for a concomitant increase of the maximum strength of the winds lesser than could have been expected, or at least with a delayed adjustment of the winds to the minimum central pressure. The most significant inertia was observed during the first part of that period, i.e. until the morning of the 10th: whereas

the pressure fall had already clearly begun (central pressure slightly below 995 hPa), the windfield derived from the QuikScat scatterometer data remained almost unaltered compared to the Ascat night orbit (and to the previous orbits), showing only a marginal evolution. The maximum winds did not exceed 30 knots and the near gale force winds were still lacking on some portion of the clockwise circulation. At the same time, the most striking feature concerning the cloud system associated with the meteor, was the absence of convection above the centre: since the disappearance of the small central cluster of the day before, the cloud configuration matched a pseudo curved band pattern, but not structured in an homogenous way however. But another important fact had occurred towards the end of the night of 9 to 10 January, namely a change of track, rather drastic in that case. Preceded by a slowdown of the motion, it was in fact operated almost at a right angle as the meteor turned sharply towards the south-southeast, 440 km to the northeast of Rodrigues. The subtropical ridge had withdrawn to the south, to give way to a barometric col, while an upper trough was approaching from the southwest. That configuration accounted for the establishment of a north-northwesterly steering flow. The depression then gathered speed during the day of the 10th. The primary consequence of the change of track was that it accelerated the nearing to the upper ridge axis. Thus the vertical windshear became minimal



DONGO : une genèse laborieuse. Le météore atteint tout juste le stade de dépression tropicale à cette heure. Sur cette image, à laquelle a été superposée la double fauchée de vents diffusio-métriques Ascat, on devine assez bien, dans le secteur ouest de sa large circulation dépressionnaire, la présence résiduelle de celle de l'ex-BILLY.

DONGO : a laborious genesis. The meteor barely reached the stage of tropical depression at that time. In this image, on which the double swath of Ascat scatterometer winds were superimposed, one can notice rather clearly, in the western sector of its wide low circulation, the residual presence of ex-BILLY's.

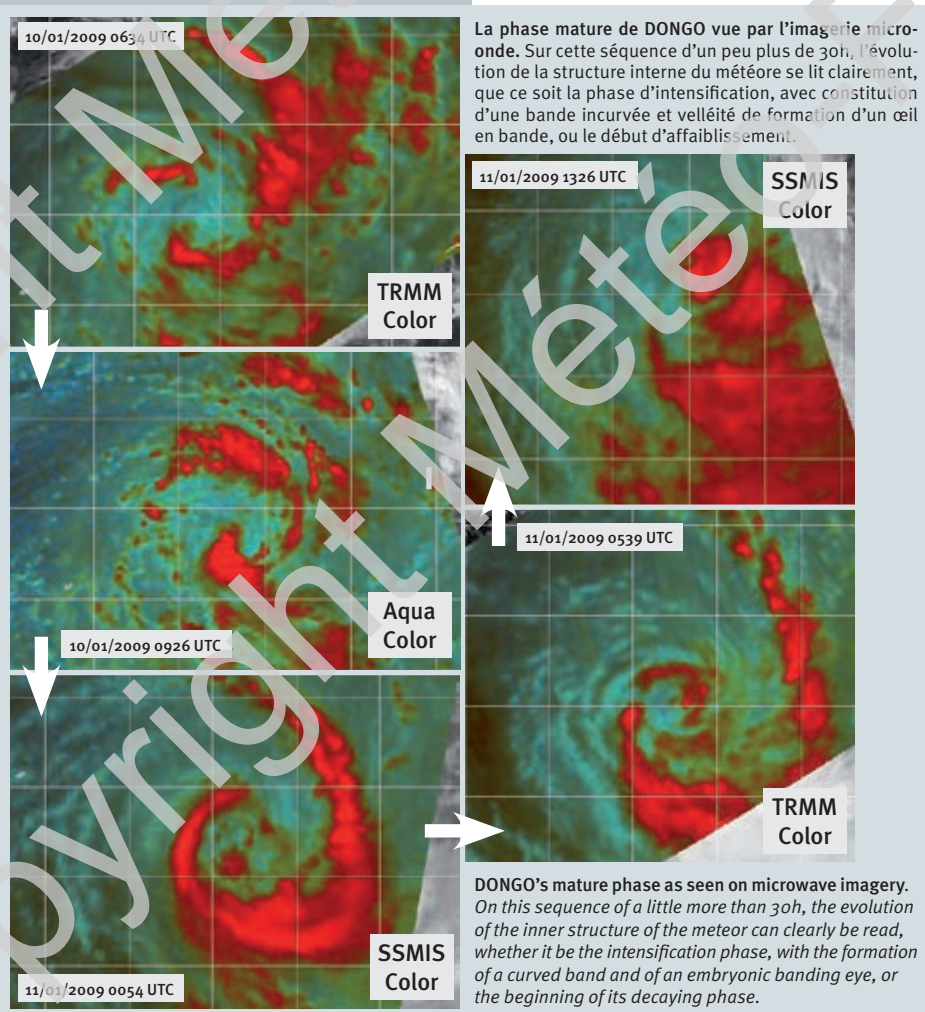
towards midday, as the system crossed latitude 18°South. As at the same time, the upper outflow was boosted by the strengthening of the poleward outflow channel following the drawing closer of the above mentioned high-troposphere trough, the environmental conditions were now extremely favourable. In spite of that, the kick off of intensification was delayed – the reason probably being the persistent deficiency of convection –, and, at first, intensification remained slack. It was not until the end of afternoon of the 10th that the system began to intensify significantly, once it actually reached the stage of moderate tropical storm. The organization of the cloud structure became at last manifest on the satellite imagery and particularly on the microwave imagery, with, this time, a real, nice curved band structure which was building up, even showing signs of evolution towards a banding eye pattern early in the morning of the 11 January. But that did not have enough time to occur. Like what had already happened to its predecessors, the development time window closed for DONGO and the intensification process was stopped before it could attain its full scope.

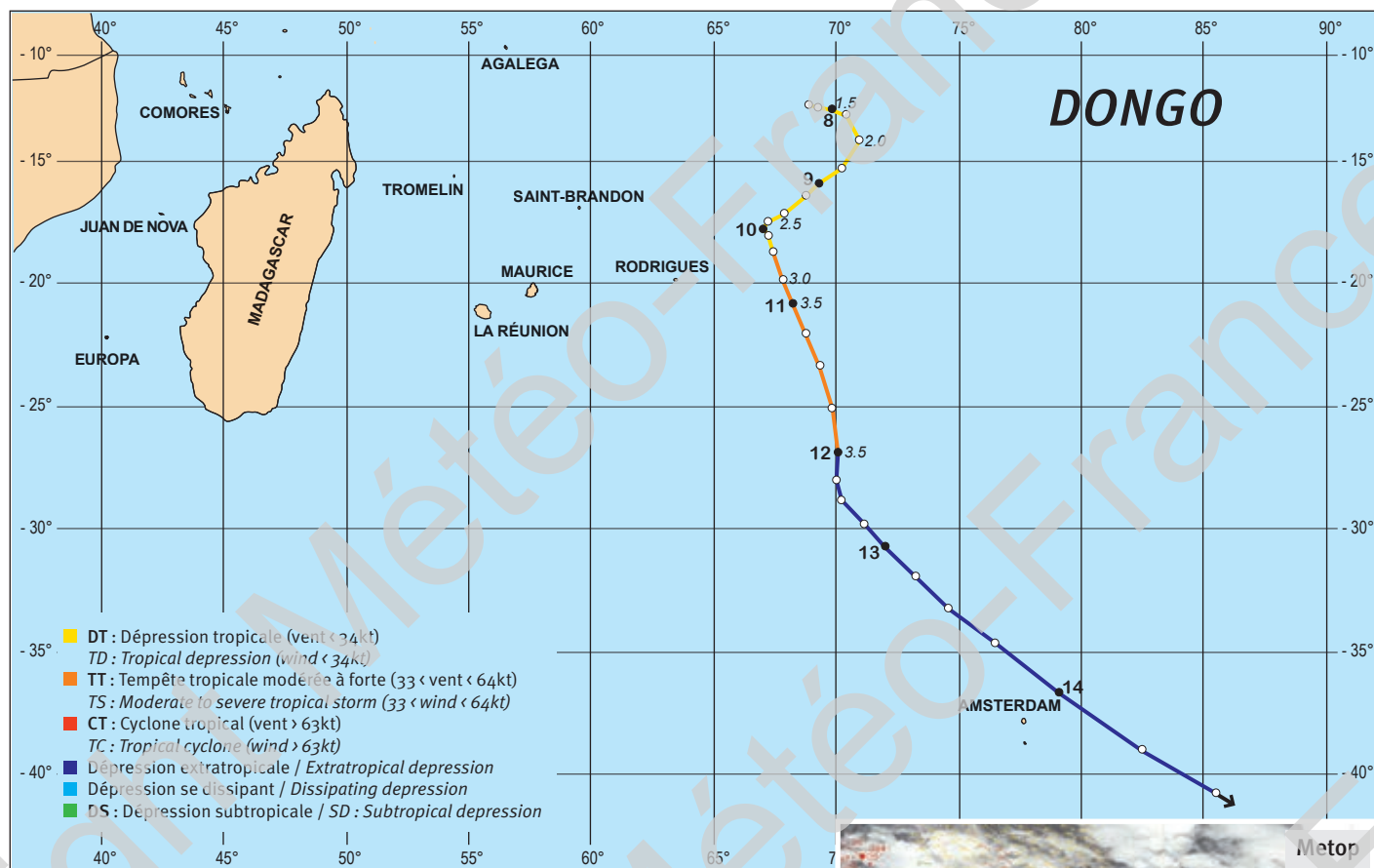
The storm whose speed of movement was still increasing ahead of the upper trough, drew nearer latitude 22°South and was soon to undergo the impact of increasing vertical windshear on the edge of the upper jet stream. Maximum intensity was reached during the morning of the 11th, being assessed as equivalent to CINDA's, i.e. corresponding to the minimal stage of severe tropical storm (notice a rather wide radius of maximum winds).

The more and more penalizing proximity of the northwesterly jet stream could be felt from the afternoon onward, accrued ventilation generating a distinct erosion of convection in the windward sector of the upper flow, then the dismantling of convection. In the morning of the 12th, the configuration was that of a clearly sheared system, with a low-level vortex exposed to the northwest of the residual convection. A typical situation : the meteor which was now drawing closer to latitude 28°South and arriving over marginally warm water, then began its extratropical transition phase which was to be quickly completed. The radius of maximum winds went on widening, quickly exceeding 100 km. Storm force winds lasted until the end of the day, with a filling up that remained limited. Even at the beginning of the 13th, when the wind was only at gale force, it was possible to validate a minimum

of pressure of 990 hPa as the low-pressure centre passed in close vicinity to a drifting buoy. After being slowed down temporarily in its descent towards the Far South during the day of the 12th, by the transit of a high-pressure cell to the south, ex-DONGO definitely started off again towards the southeast. It gathered speed as the day of the 13th went by, cruising at more than 50 km/h at the beginning of the next night, which led it to transit to the northeast of Amsterdam Island at the end of the night (some 200 km to the northeast). The Météo-France automatic weather station based there recorded gale force winds (41 knots of maximum average wind, for a peak gust of 60 knots – 111 km/h), a minimal pressure of 993.6 hPa and significant rainfall (97 mm of rain in 24h, of which 80 mm fell within the space of 12h). After that passage in the vicinity of Amsterdam Island, the extratropical depression began to deepen again and the associated winds regained strength, giving ex-DONGO a second life as a mid-latitude storm.

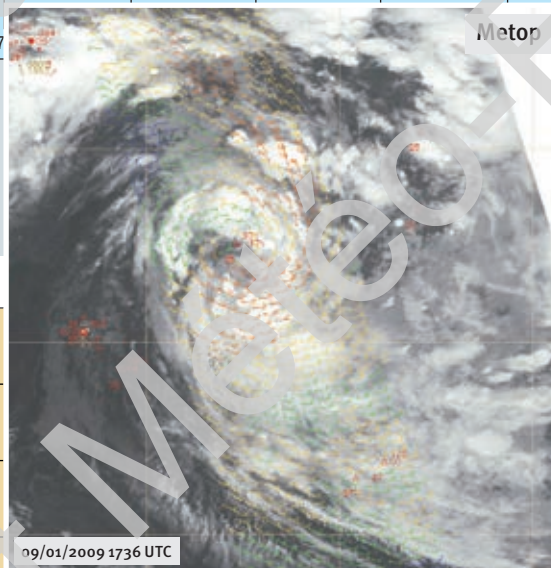
immédiate d'une bouée permet de valider un minimum de pression à 990 hPa. Après avoir été freiné temporairement dans sa descente vers le Grand Sud en journée du 12, par le transit d'une cellule de hautes pressions au sud, l'ex-DONGO a redémarré franchement en direction du sud-est. Sa course s'accélère au fil de la journée du 13, avec une vitesse de déplacement passant au-dessus des 50 km/h en début de nuit suivante, ce qui l'amène à transiter au nord-est de l'île d'Amsterdam en fin de nuit (à quelque 200 km au nord-est). La station automatique de Météo-France basée sur place enregistre du coup de vent (41 nœuds de vent moyen maxi, pour une rafale maximale de 60 nœuds – 111 km/h), un minimum de pression de 993.6 hPa et un arrosage conséquent (97 mm de pluie tombés en 24h, dont 80 mm en l'espace de 12h). Après ce passage au voisinage de l'île d'Amsterdam, la dépression extratropicale commence à se recreuser et les vents associés se renforcent à nouveau, donnant une seconde vie à l'ex-DONGO en tant que tempête des moyennes latitudes.



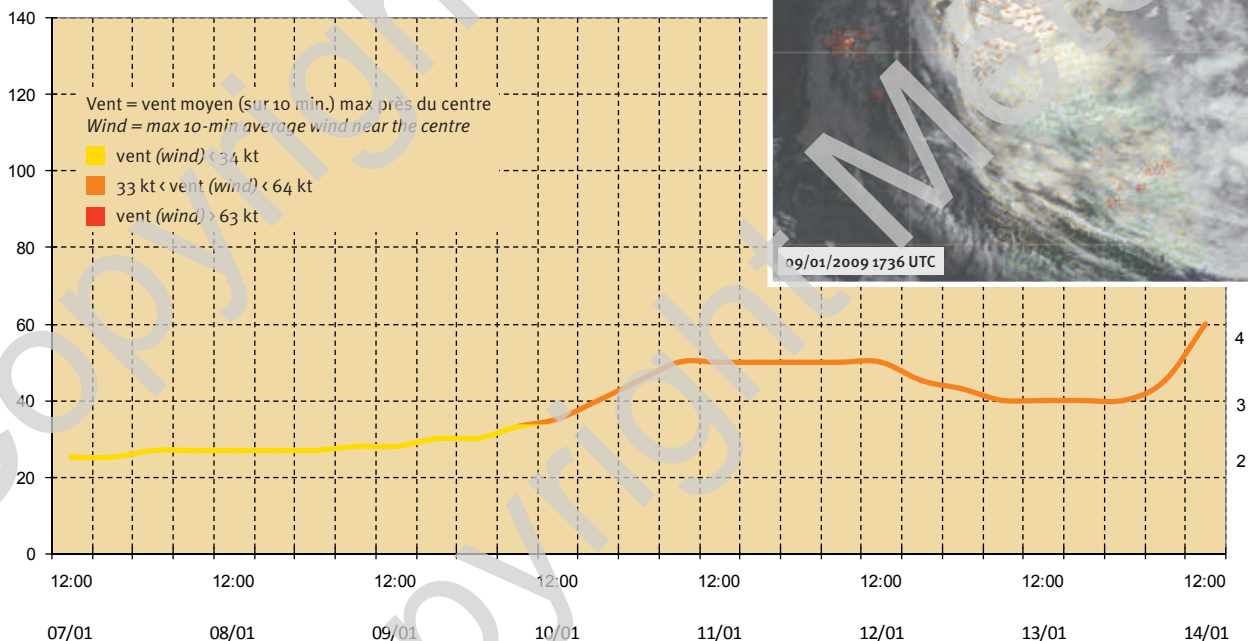


DONGO au nord-est de Rodrigues. Le météore se dirige encore à cette heure en direction de l'île, mais ne va pas tarder à obliquer en direction du sud-sud-est. Toujours classé en simple dépression tropicale, son évolution est particulièrement bien appréhendée grâce à la présence d'une bouée dérivante bien placée et grâce aux vents dérivés des données diffusiométriques Ascat.

DONGO to the northeast of Rodrigues Island. The meteor was still heading at that time towards the island, but it won't be long before it would swerve towards the south-southeast. Still ranked as a mere tropical depression, its evolution was particularly well apprehended thanks to the presence of a well-situated drifting buoy and owing to the winds derived from the Ascat scatterometer data.



DONGO DU 07/01 AU 14/01/2009



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)



Eric

Tempête Tropicale Modérée du 16 au 22 janvier 2009

Moderate Tropical Storm "Eric" (16-22 January 2009)



FORMATION

A

près l'évacuation de l'ex-tempête tropicale DONGO vers les moyennes latitudes, le répit va être de courte durée et deux nouveaux systèmes dépressionnaires vont rapidement éclore, de manière quasi simultanée, de part et d'autre de Madagascar.

A la mi-janvier, et alors que nous entrons de plain-pied dans le cœur de la saison chaude, le flux de mousson n'est réellement établi que sur la partie ouest du bassin, avec un flux trans-équatorial modéré présent des côtes africaines jusqu'aux Seychelles. Le talweg de mousson associé est relativement bien défini du côté océan Indien, au nord des Mascareignes, et un minimum relatif de pression (1009 hPa) s'esquisse en son sein au nord de l'archipel de Saint-Brandon dans l'après-midi du 16 janvier ; beaucoup moins dans le Canal du Mozambique, où une vaste zone de basses pressions, très "molle", occupe un large espace au sud de la mousson, du 18ème parallèle Sud jusqu'au sud du Canal, l'alizé étant absent du côté polaire. Dans les deux cas, un cisaillement vertical de vent défavorable règne et prohibe toute potentialité de cyclogenèse à courte échéance. Ce qui n'empêche pas certains modèles numériques de développer, à échéance de 2-3 jours seulement, une faible circulation dépressionnaire au large des côtes nord-est de Madagascar et une autre sur la partie centrale du Canal de Mozambique, en liaison avec ces deux zones d'activité. Cette prédiction va s'avérer exacte.

La convection, encore modérément présente le 16 janvier (essentiellement du côté de l'alimentation de mousson) et d'aspect relativement anodin, montre une évolution très significative dès le

lendemain matin, s'étant à la fois développée et regroupée en deux zones d'activité convective bien identifiées et devant désormais être considérées comme suspectes. Pour la zone convective du centre du Canal, aucune organisation n'est toutefois apparente pour le moment ; mais pour celle située au nord des Mascareignes il en va différemment, et le gain de structuration y est tel dans l'après-midi, qu'il faut maintenant parler de configuration de pré-genèse : on note des débuts de courbure au sein de l'amas nuageux convectif qui s'apprête à transiter au voisinage de l'îlot de Tromelin, tandis que l'imagerie satellitaire parle d'elle-même quant à la bonne divergence d'altitude environnante, avec un épanchement très généreux des cirrus, tout particulièrement du côté équatorial. Les données de cisaillement vertical de vent du CIMSS (dérivées des vents satellitaires) indiquent par contre la persistance d'une contrainte cisailée de sud-est assez forte, qui tempère la tentation d'un pronostic de cyclogenèse imminente. Pour l'instant le creusement demeure en tout cas marginal, avec un minimum de pression qui peut être validé à 1007 hPa par les observations de la station de Tromelin au moment du passage à proximité de l'îlot, dans l'après-midi du 17 janvier.

ÉVOLUTION

C'est après ce passage au voisinage de Tromelin que le creusement va réellement débuter, malgré la contrainte cisailée de sud-est, puis sud, qui perdure. Certes en légère baisse, celle-ci s'avère insuffisante pour empêcher la convection de se développer et se maintenir durablement à proximité du minimum dépressionnaire la nuit suivante, puis en journée du 18, permettant ainsi à la cyclogenèse de se

produire. Le système, de petite taille, est analysé en dépression tropicale au matin de ce 18 janvier.

Le minimum dépressionnaire se dévoile temporairement l'après-midi, exposé juste en bordure sud de la convection, avant d'être à nouveau occulté la nuit suivante, au cours de laquelle le météore va présenter sa meilleure définition, sous la forme d'un CDO (amas nuageux central dense) d'environ 200 km de diamètre sur l'imagerie infrarouge (moins pour la partie active en terme de précipitations, telle qu'appréhendée par l'imagerie micro-onde), ce qui justifie un classement en tempête tropicale modérée.

Le météore, qui va prendre le nom d'ERIC, n'est plus qu'à quelques encablures de Madagascar. Après avoir été axée initialement quasiment plein ouest, la trajectoire du météore s'est infléchie ouest-sud-ouest après le transit à proximité de Tromelin et tend maintenant à s'incurver sud-ouest. En fait, ERIC continue de contourner la puissante dorsale de basse et moyenne troposphère présente à l'est de Madagascar et issue de l'anticyclone subtropical alors solidement ancré au milieu de l'océan Indien.

Le centre de la tempête passe en milieu de nuit du 18 au 19 janvier à quelque 25 km au large de la pointe sud de l'île de Sainte-Marie, où la station d'observation sise sur l'aéroport indique du fort coup de vent (rafale maximale de 60 nœuds – 111 km/h), puis touche terre en début de journée du 19 au niveau de la localité de Foulpointe.

On peut considérer qu'ERIC est probablement alors à ce qui constituera son maximum d'intensité, et très proche du seuil de la forte tempête tropicale – l'on ne peut d'ailleurs pas exclure qu'il ait très temporairement atteint ce seuil. Le cœur du météore s'est encore davantage contracté à l'approche du littoral malgache et l'on a clairement affaire à une tempête tropicale de type "midget" (système "nain"), ce que vont confirmer les observations de la station de Tamatave (Toamasina), au voisinage immédiat de laquelle transite le centre d'ERIC en cours de matinée, après avoir pris en enfilade toute la côte depuis Foulpointe.

Le minimum de pression horaire (réduite au niveau de la mer) transmis par la station de Tamatave est de 993.6 hPa (mesuré quasiment au moment du maximum de la marée barométrique) et l'examen du relevé des données montre que le gradient de pression était concentré 2h avant et après le passage au plus près de la station, très localisé donc, puisque

19/01/2009 0305 UTC

La tempête tropicale ERIC sur la côte est de Madagascar, entre l'île Sainte-Marie et Toamasina (Tamatave). ERIC est alors une tempête tropicale "midget" ("naine"), dont le cœur actif ne fait qu'une centaine de km de diamètre, comme le montre encore mieux l'imagerie micro-onde acquise au moment de l'atterrissage, survenu au niveau de la localité de Foulpointe.

Tropical storm ERIC over the eastern coast of Madagascar, between Sainte-Marie Island and Toamasina. ERIC was then a midget tropical storm, whose active core was only about a hundred km wide, as shown even more clearly by the micro-wave imagery acquired at the time of landfall, which took place near the town of Foulpointe.

19/01/2009 0600 UTC

concernant une zone d'environ 70 km d'extension horizontale seulement, conforme au diamètre très réduit de la zone active associée au cœur de la perturbation (telle que bien décrite par l'imagerie micro-onde TRMM acquise au moment de l'atterrissage). La faiblesse des vents observés à Tamatave (avec un maximum horaire de 25 nœuds seulement) laisse par contre perplexe et contribue à entretenir un doute sur l'intensité réelle du météore. Avec un centre dépressionnaire quasiment sur le trait de côte depuis quelques heures maintenant, on peut supposer que l'interaction avec les terres a sûrement impacté négativement la force des vents près du centre, mais à ce point c'est surprenant. On est tout de même en droit de penser que des vents forts subsistent en mer dans le demi-cercle est de la circulation dépressionnaire. Les données de vents Quikscat plaident en tout cas dans ce sens, même si la proximité de la côte rend ces données moins fiables.

Peu après le passage au plus près de Tamatave, le centre dépressionnaire devient clairement visible : à la faveur de la désagrégation de la majeure partie de la convection, il se dévoile au cœur du petit vortex de nuages bas et moyens qui l'entoure. La trajectoire du météore s'est désormais orientée quasiment plein sud et va maintenir ce cap durant un peu plus de 24h, au cours desquels ERIC va transiter (en début de journée du 20) à un peu plus de 700 km à l'est du désormais cyclone tropical FANELE, toujours en

FORMATION

After ex-tropical storm DONGO shoved off towards the mid-latitudes, the respite was going to be short-lived as two new storms were to spin up soon after, almost simultaneously, on either side of Madagascar.

In mid-January, while the very depth of the warm season was coming on, the monsoon flow had really settled only over the western part of the basin, with a moderate trans-equatorial flow existing from the African coast to the Seychelles. The related monsoon trough was rather well-defined on the Indian ocean side, to the north of the Mascarene, and a relative low (1009 hPa) began to arise within it to the north of the Saint-Brandon Archipelago during the afternoon of 16 January; it was far less clearly defined in the Mozambique Channel, where a very "loose" wide zone of low pressure was spreading over a large area to the south of the monsoon, from latitude 18°South to the south of the Channel, as the trade winds were lacking poleward. In both cases, an unfavourable vertical windshear prevailed and hindered all potentiality of cyclogenesis in the short term. Which did not prevent some models from developing, in 2 or 3 days only, a weak clockwise circulation off the northeast coast of Madagascar and another one over the central part of the Mozambique Channel, in connection with those two areas of disturbed activity.

This prediction would prove exact. Convection, still moderately present on 16 January (essentially on the monsoon side) and looking relatively insignificant, showed a prominent evolution on the following morning, as it had in the meantime both developed and balled into two clearly identified areas of convective activity, which could henceforth be considered as suspect. As for the convective area over the central Channel, no organization could however be detected for the time being; but the situation was different for the one situated to the north of the Mascarene, and in the afternoon the gain in structuring was such that one had then to refer to a pre-genesis pattern: some incipient cloud curvature could be noticed within the convective cloud cluster which was about to transit in the vicinity of the islet of Tromelin, whereas the satellite imagery was self explanatory as to the good environmental upper divergence, with a very generous fanning out of the cirrus, mainly equatorward. The vertical windshear data from the CIMSS (derived from the satellite winds) however indicated the persistence of a fairly powerful southeasterly sheared constraint, which moderated the temptation to predict an imminent cyclogenesis. For the time being the deepening remained marginal in any case, with a minimum of pressure of 1007 hPa, which could be confidently validated owing to the observations

Pré-genèses d'ERIC et de FANELE. Au nord des Mascareignes, la perturbation initiale du futur ERIC s'apprête alors à transiter à proximité de l'îlot de Tromelin. Sa configuration nuageuse est dans un état d'organisation beaucoup plus avancé que les masses nuageuses du futur FANELE présentes dans le Canal de Mozambique. On notera également la très bonne divergence d'altitude dont bénéficie le météore à ce stade encore embryonnaire, matérialisée par l'épanchement généreux des cirrus autour du système nuageux, plus particulièrement du côté équatorial.

ERIC's and FANELE's pre-geneses. To the north of the Mascarene, the initial disturbance of what was to become ERIC was then about to transit in the vicinity of the islet of Tromelin. Its cloud pattern was in a state of organization that was far more advanced than future FANELE's cloud masses in the Mozambique Channel. One can also notice the great upper divergence from which the meteor benefited at this still embryonic stage and that was nicely highlighted by the generous fanning out of the cirrus around the cloud system, especially impressive equatorward.

Météosat 7

17/01/2009 1130 UTC

from the Tromelin's automatic weather station recorded when the system cruised near the islet in the afternoon of 17 January.

EVOLUTION

It was after the nearest passage to Tromelin that the deepening was really going to start, in spite of the enduring southeasterly then southerly sheared constraint. The latter, which indeed had slightly weakened, proved to be insufficient to prevent convection from developing and maintaining itself lastingly in the vicinity of the low during the following night, then during the day of 18 January, thus enabling cyclogenesis to take place. The system, of small size, was analysed as a tropical depression in the morning of 18 January.

The low temporarily unveiled in the afternoon, as appearing exposed right next to the southern boundary of the convection, before being hidden again on the following night, during which the meteor was going to display its best definition, in the shape of a CDO (central dense overcast) about 200 km wide on the infrared imagery (less than that for the active part in terms of rainfall, as apprehended by the microwave imagery), which warranted the upgrading of the system into a moderate tropical storm. The meteor, which was going to be named ERIC, was then situated only a few cables' length away from Madagascar. After having described an almost due west initial trajectory, the meteor had shifted its heading west-southwestward after transiting in the vicinity of Tromelin and now tended to bend southwestward. In fact, ERIC was keeping on skirting the powerful lower and mid-troposphere ridge settled east of Madagascar and

extending from the subtropical high which was then firmly anchored in the middle of the Indian ocean.

In the middle of the night of 18 to 19 January the centre of the storm passed some 25 km offshore the southern tip of the island of Sainte-Marie, where the airport's observing station recorded gale force winds (60 knots peak gust – 111 km/h), and thereafter made landfall at the beginning of 19 January near the town of Foulpointe.

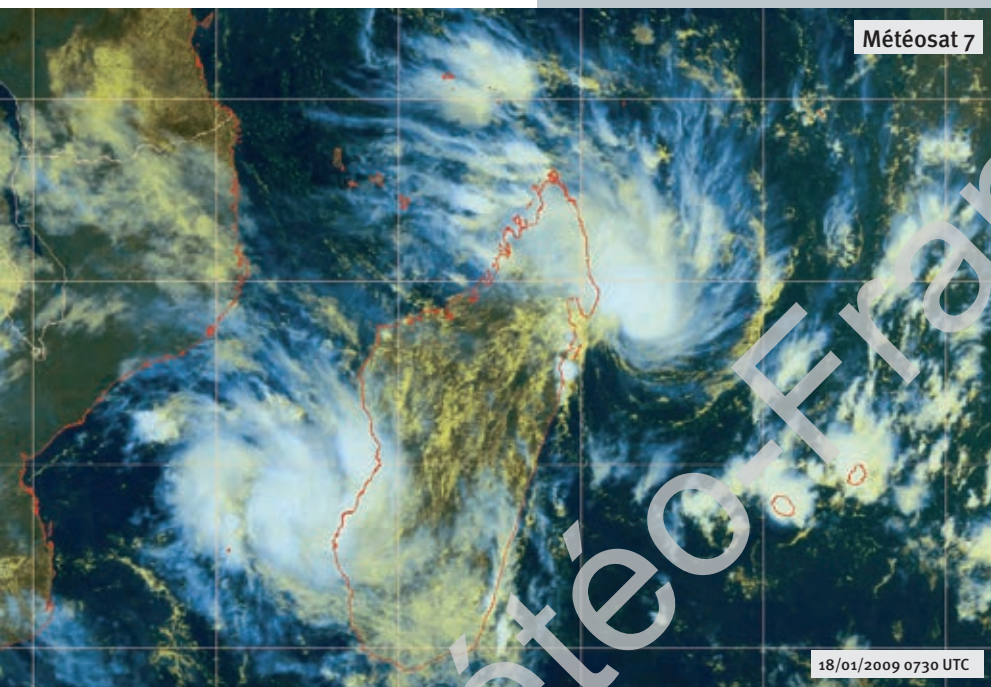
ERIC could then be deemed to have probably reached its maximum of intensity, and to be on the verge of becoming a severe tropical storm – besides it cannot be discarded that it might have transiently reached that threshold. The core of the meteor had shrunk further as it drove near the Malagasy coast and it was clear that the system was a tropical storm of the midget type, which was going to be confirmed by the observations from the station based in Tamatave (Toamasina), in the direct vicinity of which ERIC's centre transited during the morning, after threading the whole coast from Foulpointe onward.

The hourly minimum of sea-level pressure transmitted by the Toamasina's station was 993.6 hPa (measured almost at the time when the barometric tide was at its highest) and the examination of the data showed that the pressure gradient was confined more or less 2h before and after the system's closest passage to the station. It was therefore very localized, since it concerned a zone of about only 70 km of horizontal extension, in accordance with the very reduced diameter of the active zone associated with the core of the disturbance (as nicely portrayed on the TRMM microwave imagery acquired at the time of landfall). The 'weakness' of

cours d'intensification dans le Canal de Mozambique. Cette distance relativement rapprochée aurait pu laisser envisager l'éventualité d'une interaction binaire entre les deux phénomènes (effet Fujiwhara), avec donc potentiellement modification de leurs trajectoires respectives. Il n'en sera rien. Malgré l'intensité atteinte par FANELE, sa circulation dépressionnaire n'est pas suffisamment puissante pour attirer ERIC, ou même le faire dévier un tant soit peu sa trajectoire, n'étant pas de taille à lutter avec le flux directeur dicté par l'imposante dorsale le long de laquelle ERIC est contraint de "descendre" vers le sud. FANELE est d'autant moins en mesure de pouvoir influencer ERIC, que la structure cisailée de ce dernier fait qu'une influence éventuelle passe impérativement par les basses couches de l'atmosphère, où le relief de la façade est de Madagascar fait quelque peu tampon entre les deux circulations dépressionnaires.

Toujours est-il qu'ERIC, faisant fi de la présence de FANELE, poursuit imperturbablement sa descente vers le sud. La configuration géographique de la côte est malgache (inclinée sud-sud-ouest), fait qu'il tend à s'en écarter très graduellement. L'interaction avec les terres s'estompe, mais en retrouvant un environnement océanique, ERIC ne retrouve pas pour autant des conditions favorables à une régénérescence. Car la contrainte cisailée est non seulement toujours présente, mais tend à s'accroître. En effet, si près du sol l'aire d'influence de FANELE est limitée et contrainte par le relief malgache, il en va différemment en haute troposphère, où le flux sortant

d'altitude issu du cyclone peut se déployer à grande distance, son appoint contribuant ainsi à renforcer la ventilation de sud pré-existante au niveau d'ERIC.



Madagascar sous la double menace des futurs ERIC et FANELE. Bien que très fréquemment confrontée aux perturbations tropicales, il est malgré tout rare que la Grande Ile ait à faire face à deux météores simultanément. C'est le cas ce 18 janvier 2009, qui voit deux dépressions tropicales en cours de développement la prendre en étau, avec le futur ERIC qui se rapproche de sa façade nord-est, tandis que le futur FANELE "mijote" à quelques encablures au large de ses côtes sud-ouest.

Madagascar under the double threat of future ERIC and FANELE. Although the Great Island is frequently confronted with tropical disturbances, it rarely has to face two simultaneous meteors. That was the case on 18 January 2009, when two developing tropical depressions caught it in a stranglehold, with future ERIC approaching its northeastern side, while to-become FANELE was brewing a few cables' length away from its southwestern coast.

La convection ne peut en conséquence reprendre de manière significative, ni se rétablir au-dessus du centre dépressionnaire d'ERIC, demeurant cantonnée au quadrant nord-est du vortex nuageux de basses couches, qui reste pour l'essentiel exposé. Partiellement comblée, la circulation dépressionnaire génère encore des vents assez forts cependant (avec localement du coup de vent) dans son demi-cercle est, avec un effet de gradient important avec la dorsale précédemment mentionnée. Des vents qui tendent même à se renforcer dans la nuit du 20 au 21 et qui sont suffisamment forts pour provoquer le naufrage d'un voilier (un catamaran) au sud-ouest de Madagascar. Des deux marins américains à bord, un seul pourra être sauvé par le cargo coréen venu à leur secours.

En début de journée du 21 janvier, ERIC poursuit son contournement de la dorsale issue de l'anticyclone subtropical et incurve en direction du sud-est, tout en commençant d'accélérer vigoureusement sa course : en quelques heures la vitesse de déplacement passe de 25 à 50 km/h. Elle augmentera encore la nuit suivante pour dépasser les 70 km/h ! Capturée et emportée par le courant perturbé d'ouest (avec un jet subtropical puissant et spectaculairement matérialisé la veille par un impressionnant panache de cirrus prolongeant sur plus de 1500 km le flux sortant d'altitude issu de FANELE – voir page 39), la petite dépression "surfe" dans le même temps sur les restes d'une limite nuageuse frontale. Malgré cet environnement franchement barocline et des eaux sous-jacentes plus fraîches, on n'observe pas réellement de transition extratropicale. La structure du météore se conserve de manière relativement inchangée tout au long de cette journée

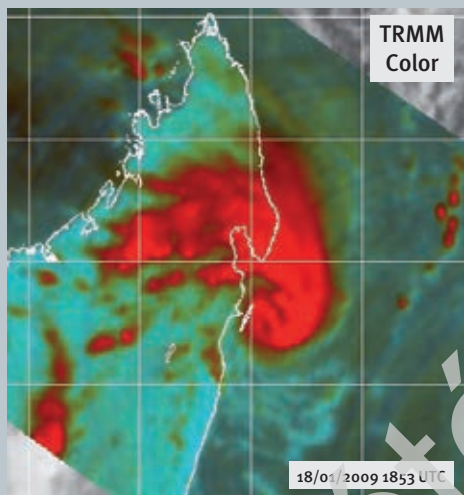
the winds observed in Tamatave (with an hourly maximum of only 25 knots) was rather puzzling and contributed to maintaining dubious the real intensity of the meteor. With a low centre almost straddling the coastline for a few hours then, it could be assumed that interaction with land had certainly had a negative impact on the wind strength near the centre, but to such an extent was surprising. All the same one was entitled to think that strong winds persisted at sea in the eastern semi-circle of the clockwise circulation. The Quikscat wind data indeed supported that assumption, even though the closeness of the coast made those data less reliable.

Soon after ERIC's nearest passage to Tamatave, the low-level circulation centre became clearly visible : owing to the dismantling of most of the convection, it was unveiled within the small vortex of low- and mid-level clouds which encircled it. The track of the meteor had henceforth headed almost due south and was to keep the same heading for a little more than 24h, during which ERIC would transit (at the beginning of 20 January) a little more than 700 km to the east of FANELE, which had then become a tropical cyclone and was still intensifying in the Mozambique Channel. That relatively short distance might have led one to envisage that a binary interaction between the two phenomena (Fujiwhara effect) was possible, with therefore a potential change of their respective trajectories. Nothing of the sort happened. Despite the intensity reached by FANELE, its clockwise circulation was not powerful enough to attract ERIC, or even slightly modify its trajectory, being unable to compete with the steering flow imposed by the impressive ridge along which ERIC had to head 'down' towards the

south. FANELE was all the less in a position to be able to influence ERIC as the sheared structure of the latter was such that an eventual influence could only occur via the lower levels of the atmosphere, where the mountain range of the eastern side of Madagascar acted as a buffer between the two clockwise circulations.

Be it as it may, ERIC, ignoring FANELE's presence, went on heading south imperceptibly. Because of the geographic contour of the Malagasy seaboard (oriented south-southwest), it tended to edge away from it very gradually. The interaction with the land diminished, but coming back to an oceanic environment did not imply that ERIC would necessarily recover favourable conditions for regeneration. Because the sheared constraint was still present and what was worse tended to increase. As a matter of fact, if near the surface FANELE's sphere of influence was limited and constrained by the Malagasy mountain range, the situation was different in the higher troposphere, where the upper outflow from the cyclone could spread far away, thus contributing to strengthening the southerly ventilation that already existed above ERIC.

Consequently, convection could neither resume significantly, nor re-establish over ERIC's low centre, and kept confined to the northeastern quadrant of the low-level cloud vortex, which remained mostly exposed. Although it was partially filled, the clockwise circulation still generated rather strong winds (with gales locally) within its eastern semi-circle, due to a significant gradient effect with the above-mentioned ridge. Winds that even tended to strengthen during the night of 20 to 21 January and which were strong enough to cause the wreck of a sailing ship (a catamaran) to the southwest of Madagascar. Of the two American sailors

TRMM
Color

18/01/2009 1853 UTC

La tempête tropicale ERIC aborde la côte nord-est de Madagascar. L'île de Sainte-Marie est déjà sous l'influence de l'amas nuageux central dense (CDO) associé au cœur de la perturbation et subira au cours des heures suivantes des rafales de vent supérieures à 100 km/h.

Tropical storm ERIC about to land on the northeastern coast of Madagascar. The island of Sainte-Marie was already under the influence of the central dense overcast (CDO) associated with the core of the disturbance and would undergo gusts of winds exceeding 100 km/h during the following hours.

on board, only one could be saved by the Korean cargo boat which came to their rescue.

At the beginning of 21 January, ERIC went on skirting round the ridge extending from the subtropical high and recurved towards the southeast, while beginning to accelerate vigorously: in a few hours its speed of motion increased from 25 to 50 km/h. It would go on increasing during the following night to exceed 70 km/h! Caught and carried away by the westerly disturbed flow (with a powerful subtropical jet stream, which, on the day before, was materialized in a spectacular way by an impressive cirrus wreath that prolonged over more than 1500 km the upper outflow from FANELE – see page 39), the small depression “surfed” at the same time along the residual clouds of a remnant frontal boundary. In spite of that clearly baroclinic environment, and the cooler underlying ocean, no real extra-tropical transition could be observed. The structure of the meteor remained relatively unchanged all day long on 21 January being only advected

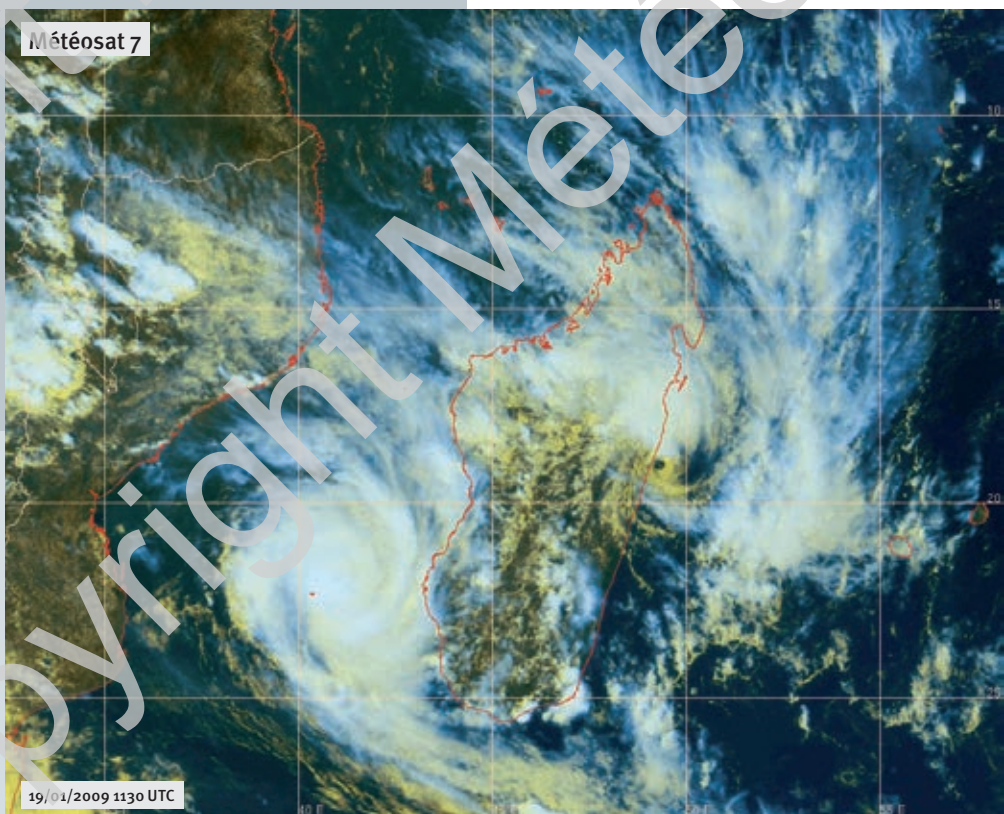
at high speed and almost unaltered while embedded within the environmental flow. Only at the beginning of 22 January would convection eventually disappear, announcing the end of ERIC's life-cycle. Owing to its small size and its limited intensity, ERIC had a very moderate impact on the eastern coast of Madagascar (regions of Analanjirofo and Atsinanana). There was indeed no comparison with what that same area had undergone eleven months before, with the disastrous impact of cyclone IVAN.

du 21, étant simplement advectée à grande vitesse et quasiment telle quelle dans le lit du flux environnant. Ce n'est qu'en début de journée du 22 janvier que la convection disparaîtra finalement, annonçant la fin de vie de l'ex-ERIC.

Du fait de sa petite taille et de son intensité limitée, ERIC a eu un impact modeste sur la côte est de Madagascar (régions d'Analanjirofo et Atsinanana), rien de comparable avec ce qu'avait subi cette même zone onze mois plus tôt, lors de l'impact catastrophique du cyclone IVAN.

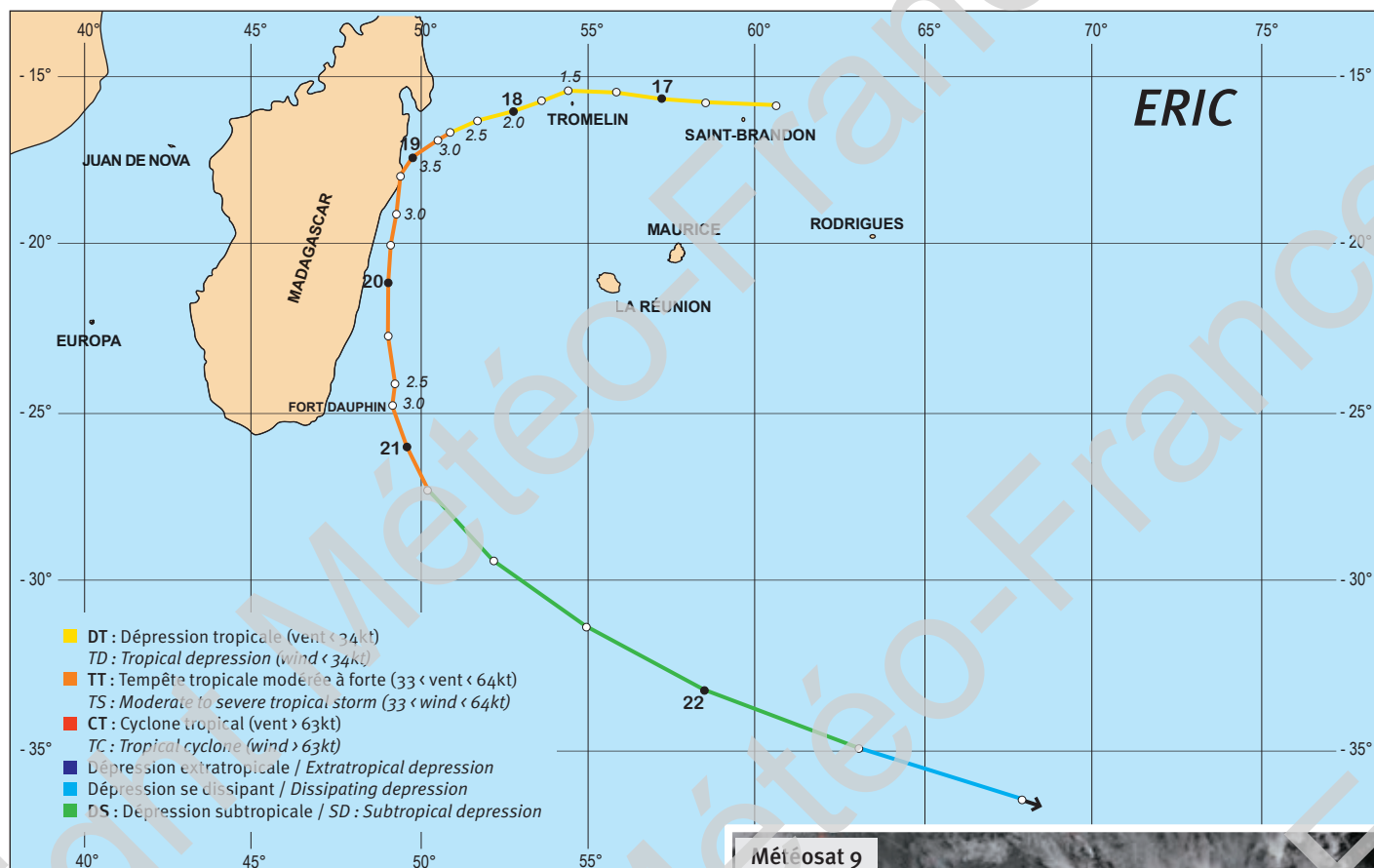
ERIC, après sa ressortie en mer au sud de Toamasina (Tamatave). Après plusieurs heures d'un transit côtier ayant initié son affaiblissement et sous l'action conjuguée d'une ventilation de sud renforcée, la convection s'est en grande partie désagrégée, dévoilant le minuscule vortex de nuages bas et moyens associé au météore, dont la fragilité et la taille excessivement réduite sont bien mises en exergue par cette image.

ERIC, after going out to sea again to the south of Toamasina. After transiting over the coast for several hours, that had initiated its decay and under the combined influence of a reinforced southerly ventilation, the convection has been largely dismantled, unveiling the minute vortex of low- and mid-level clouds associated with the meteor, whose fragility and extremely reduced size are clearly emphasized by this picture.



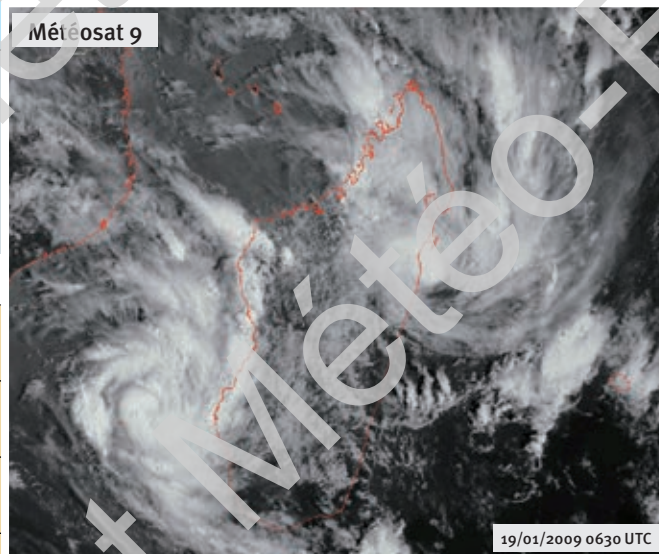
Météosat 7

19/01/2009 1130 UTC

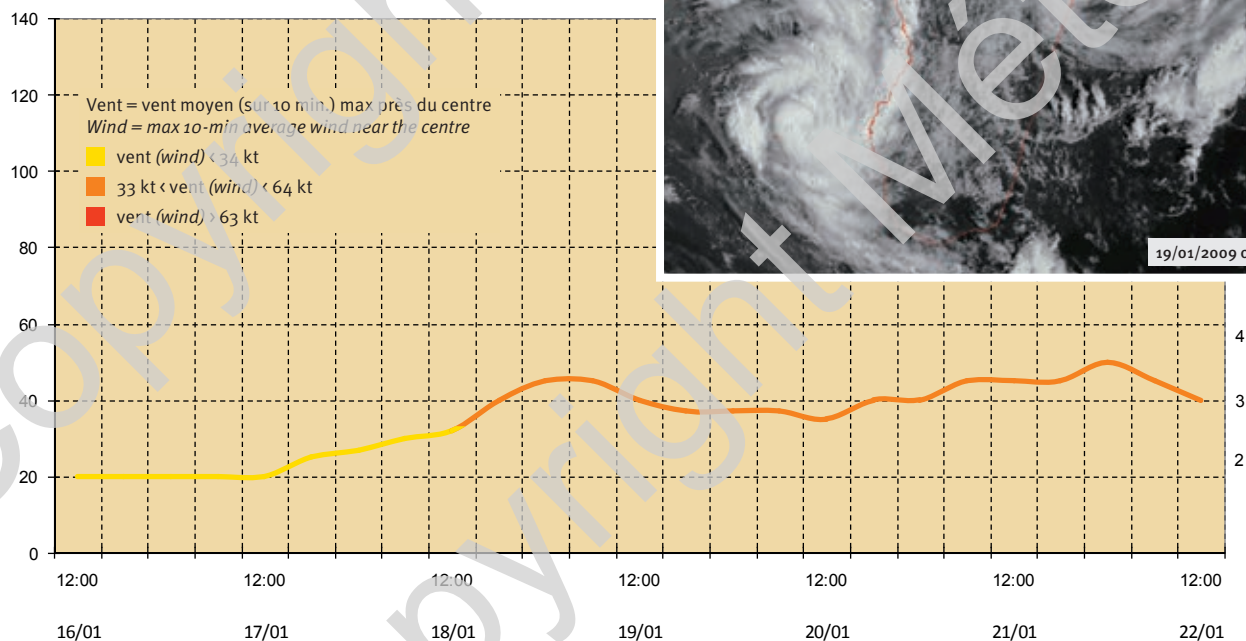


ERIC touche la côte est de Madagascar entre Tamatave et l'île Sainte-Marie. La taille réduite du cœur actif du météore transparaît bien sur l'image. De l'autre côté de la Grande Ile, FANELE vient d'être classé en forte tempête tropicale et occupe un espace plus imposant dans le Canal de Mozambique.

ERIC when encroaching on the eastern seaboard of Madagascar between Toamasina and Sainte-Marie Island. The reduced size of the meteor was well portrayed by this image. On the other side of the Great Island, FANELE had just been upgraded into a severe tropical storm and encompassed a much larger space within the Mozambique Channel.



ERIC DU 16/01 AU 22/01/2009



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)

Fanele

Cyclone Tropical Intense

du 17 au 26 janvier 2009

Intense Tropical Cyclone "Fanele" (17-26 January 2009)



FORMATION

Des deux cyclogenèses d'ERIC et de FANELE intervenues de manière quasi simultanée de part et d'autre de Madagascar, difficile de dire avec certitude laquelle a été réellement effective la première. Des deux zones d'activité convective constituées entre le 16 et le 17 janvier, celle au nord-est de Madagascar (correspondant au futur ERIC) avait clairement pris les devants en terme d'organisation initiale (voir image page 34), mais pas sûr du tout qu'elle ait conservé cet avantage jusqu'au moment de la transformation en tempête tropicale modérée. Car si in fine elle a conservé la primauté du baptême lors du suivi opérationnel en temps réel, la ré-analyse a posteriori a conduit à statuer que le système du Canal de Mozambique avait vraisemblablement atteint le stade de tempête tropicale modérée juste avant ERIC (la chronologie du classement en tempête tropicale ayant dans les deux cas été avancée par rapport à celle en temps réel). De sorte que FANELE aurait dû s'appeler ERIC et inversement. Une inversion purement anecdotique évidemment, mais comme il convient de rendre à César ce qui appartient à César...

Car si le début d'évolution observé en journée du 17 janvier était beaucoup plus prometteur du côté de la zone perturbée qui donnera ensuite naissance à ERIC, le fait est que, dès le lendemain matin, celle sise dans le Canal de Mozambique a rattrapé son retard initial, avec une organisation en bandes convectives suffisante pour justifier un classement en dépression tropicale, tout comme le système au large des côtes nord-est malgaches au même moment.

ÉVOLUTION

En fin de journée et soirée, la convection tend toutefois à périlcliter quelque peu, ce qui sème le doute sur la poursuite ou non de l'intensification. Mais il ne s'agit là que de la conséquence – souvent déstabilisante et source de méprise – de l'effet parasite du cycle diurne de la convection, comme va le prouver la suite de l'évolution.

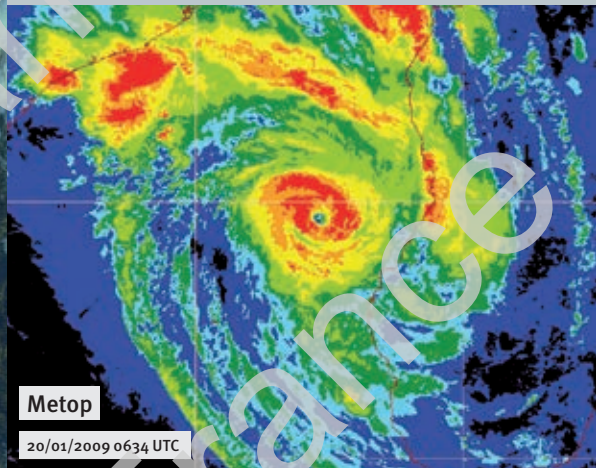
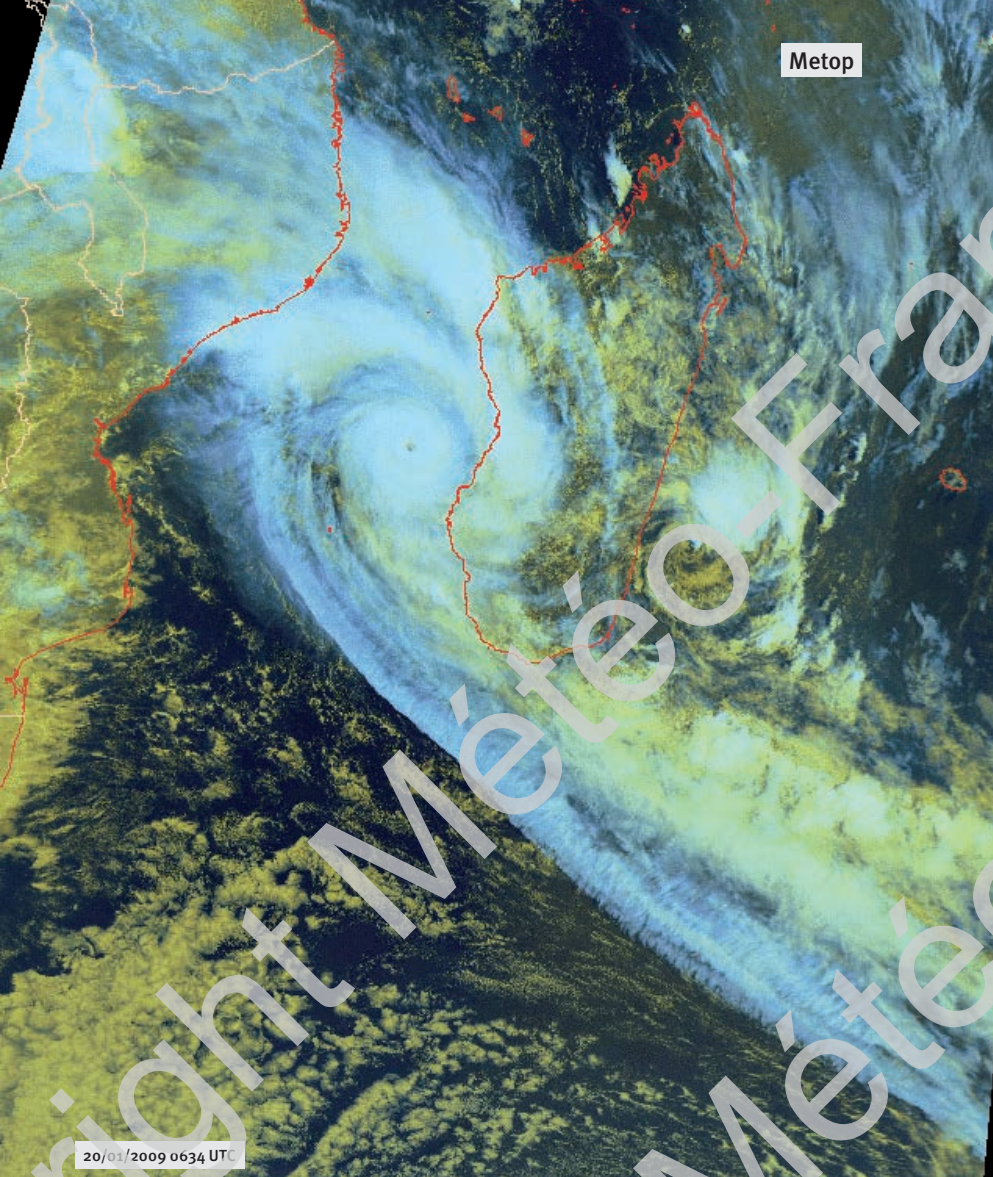
Mieux vaut se raccrocher aux "fondamentaux" et se fier à l'analyse du contexte environnemental, qui lui ne soulève pas la moindre ambiguïté : tous les paramètres sont en train de virer au vert, pour non seulement promouvoir une poursuite de l'intensification, mais impulser une accélération du processus et susciter une phase d'intensification rapide. Déficiante jusque là, la convergence de basses couches est en cours d'amélioration franche, suite à l'arrivée d'une dorsale de basse troposphère depuis l'Afrique australe, qui provoque une poussée de flux de sud sur tout le Sud-Ouest du Canal de Mozambique, venant converger avec le flux de mousson, toujours bien alimenté du côté équatorial. Encore fort la veille, le cisaillement vertical de vent est, quant à lui, en voie d'affaiblissement rapide, tandis qu'une configuration classique à deux capaux d'évacuation du flux sortant d'altitude (un du côté polaire et un du côté équatorial) se met en place. Un simple coup d'œil à l'imagerie infrarouge suffit d'ailleurs à évaluer l'état quasiment optimal de la divergence d'altitude : si la convection apparaît malingre, l'épanchement des cirrus autour du météore est par contre resplendissant. Les conditions dynamiques deviennent donc extrêmement favorables à un plein épanouissement du système dépressionnaire et comme le

contenu énergétique océanique est plutôt élevé sur la zone, avec des températures de surface de la mer supérieures à 30°C (voir page 43), on voit mal comment les choses pourraient rester en l'état.

De fait, la convection commence à reprendre du poil de la bête avant le milieu de nuit (du 18 au 19 donc), avec tout d'abord la formation d'un amas nuageux central dense (CDO), de plus de 150 km de diamètre, dans le secteur nord-est proche de l'île d'Europa. Des bandes convectives périphériques viennent ensuite se greffer autour de ce noyau central. Le doute n'est plus permis cette fois : le processus d'intensification est lancé, ce que confirment les orbites successives Ascet et QuikScat, qui valident un renforcement des vents au sein de la circulation dépressionnaire.

Au matin du 19 janvier, tandis qu'ERIC touche terre sur la côte nord-est malgache, FANELE est peu ou prou analysé à la même intensité, c'est-à-dire sur le point d'atteindre le stade de forte tempête tropicale. Mais contrairement à son congénère, il n'est confronté à aucune terre ou contrainte environnementale autre à même d'interrompre son processus d'intensification, qui se poursuit donc, et ce à un rythme très soutenu (deux points par 24h de gain sur l'échelle d'intensité Dvorak), nettement supérieur à la norme climatologique, comme l'on pouvait s'y attendre.

La première ébauche d'œil s'esquisse avant la mi-journée sur l'imagerie visible, mais ne demeure décelable que par intermittences jusqu'en fin de journée. L'imagerie micro-onde est plus limpide quant à la poursuite de l'intensification, avec une évolution plus linéaire de la structure interne du cœur du météore. Celui-ci reste de petite taille, comme en attestent les observations de la station automatique de Météo-France basée sur l'île d'Europa, où il faut attendre de voir le centre de FANELE se rapprocher à moins de 80 km avant que les vents n'y atteignent la force du grand frais (avec tout de même une rafale maximale mesurée à 54 nœuds – 101 km/h). Ils n'iront pas au-delà de cette force : alors que depuis son origine le météore dérivait, assez lentement, sud-ouest à sud-sud-ouest, une trajectoire devenant franchement menaçante pour l'île, il fait demi-tour en fin d'après-midi (le minimum de pression étant observé à Europa à 17h locales – 14 utc – avec 998,8 hPa) et rebrousse chemin en direction du nord-est. Ce changement radical de trajectoire, bien anticipé par les modèles numériques, est lié à la dorsale issue d'Afrique du Sud, qui repousse désormais FANELE et le fait



Le cyclone tropical intense FANELE quelques heures avant son maximum d'intensité. Développé sur les eaux chaudes du Canal de Mozambique, le météore bénéficie d'une excellente divergence d'altitude, tout particulièrement du côté polaire, où s'exhibe magnifiquement un impressionnant canal d'évacuation du flux sortant d'altitude. Pendant que FANELE menace les côtes sud-ouest de Madagascar, la dépression résiduelle de la tempête tropicale ERIC longe les côtes sud-est de la Grande Ile, avec son vortex exposé.

Intense tropical cyclone FANELE a few hours before its maximum of intensity. Having spun up over the warm waters of the Mozambique Channel, the meteor benefited from an excellent upper divergence, especially on the poleward side where an impressive outflow channel exhibited magnificently. While FANELE was threatening the southwest coast of Madagascar, the remnant depression of tropical storm ERIC and associated exposed vortex were tracking along the southeastern seaboard of the Great Island.

20/01/2009 0634 UTC

refluera vers son point d'origine (sur lequel il repassera quasiment, 24h plus tard, en fin d'après-midi du 20).

Un ciel déchiqueté se dévoile de manière pérenne en première partie de nuit suivante (du 19 au 20), ce qui amène à considérer le seuil de cyclone tropical comme franchi à ce moment-là. Le processus d'intensification rapide se prolonge ensuite jusque dans l'après-midi du 20 janvier. Et s'il puise assurément l'énergie nécessaire à l'entretenir en surface, via les eaux chaudes du Canal de Mozambique, c'est bien en altitude que se situe son moteur principal, avec une divergence d'altitude suritaminée, qui "booste" un flux sortant d'altitude particulièrement impressionnant du côté polaire, où il est relayé sur plusieurs milliers de km par le surpuissant jet subtropical qui fait l'interface avec le talweg polaire alors présent au sud-ouest du météore (voir image page 41). Classé cyclone tropical intense en matinée du 20, FANELE atteint son maximum d'intensité quelques heures plus tard, en début d'après-midi, avec des vents moyens sur 10 minutes estimés culminer à 100 nœuds, plus forte intensité de la saison (mais qui sera égalée par GAEL).

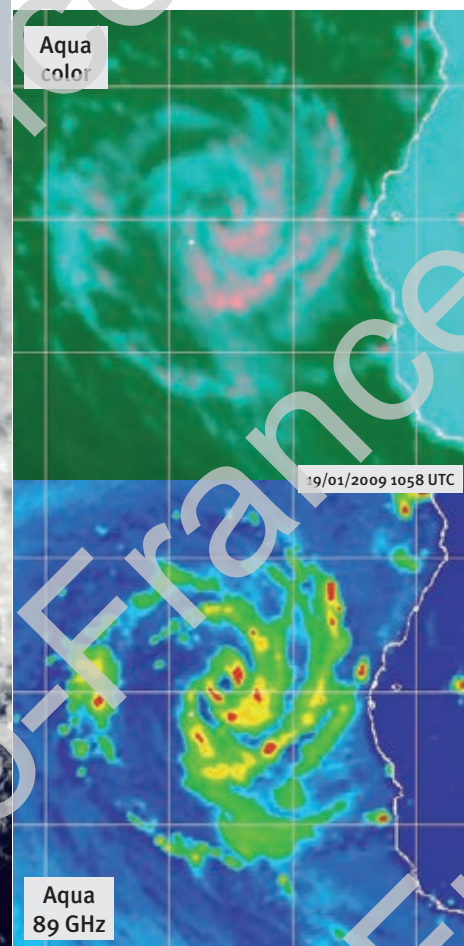
FORMATION

Of ERIC's and FANELE's cyclogenesis, which occurred almost simultaneously on both sides of Madagascar, it is difficult to say unhesitatingly which has been really effective first. Of the two areas of convective activity which sprung up between 16 and 17 January, the one situated to the northeast of Madagascar (corresponding to the future ERIC) had clearly made the first move in terms of initial organization (see image page 34), but it is not sure at all that it has kept that advantage until the moment when it became a moderate tropical storm. Because if in the end it had retained the primacy of naming during the real-time operational monitoring, the post-analysis subsequently led us to believe that the system in the Mozambique Channel had likely reached the stage of moderate tropical storm just before ERIC (the chronology of ranking as a tropical storm having in both cases been put forward in comparison with that in real-time). So that FANELE should have been named ERIC and vice versa. A purely anecdotal inversion of course, but as it is proper to render unto Caesar the things which are Caesar's...

Indeed, if the incipient evolution observed during 17 January looked much more promising for the zone of disturbed weather which would then give birth to ERIC, the fact is that, on the following morning, the zone situated in the Mozambique channel had made up for initial lost time, with an organization in convective bands sufficient to justify an upgrading as a tropical depression, just like the system evolving off the Malagasy northeastern coast at the same time.

EVOLUTION

However, at the end of the day and in the evening, the convection tended to deteriorate a little, which made one doubt whether the intensification would go on or not. But it was only the consequence – often destabilizing and a source of mistake – of the parasitic effect of the diurnal cycle of the convection, as the evolution to come was going to prove. It was wiser to cling to a basic approach and rely on the analysis of the environmental context, which raised no ambiguity : the light had just gone green for all the parameters, not only to promote the continuation of the intensification, but to go even further and impulse



FANELE au stade de forte tempête tropicale, lors de sa phase d'intensification au nord-est de l'île d'Europa (en direction de laquelle il se dirige encore à ce moment-là). L'ébauche d'œil, à peine esquissée sur l'imagerie classique, apparaît beaucoup plus clairement sur l'imagerie micro-onde. Bien que située sous une bande périphérique, apparemment active d'après l'imagerie micro-onde, qui converge vers le cœur du météore, Europa n'enregistre que des pluies faibles à cette heure. Les précipitations y demeureront d'ailleurs globalement assez modérées sur la totalité de l'épisode pluvieux, avec 76 mm recueillis en un peu plus de 36h. Noter la présence, 940 km au nord-est, de la tempête tropicale modérée ERIC, dont le petit vortex central se dévoile au voisinage de la côte est malgache.

FANELE as a severe tropical storm, during its intensification phase to the northeast of Europa Island (towards which it was then still heading). An embryonic eye, barely visible on the classical imagery, appeared much more distinctly on the microwave imagery. Although it was situated under a peripheral band converging towards the core of the meteor and which looked apparently active according to the microwave imagery, only light rainfall was recorded in Europa at that time. Besides the rainfall remained globally rather moderate during the whole rain episode, with 76 mm recorded in a little more than 36h.

Note the presence, 940 km to the northeast, of moderate tropical storm ERIC, whose tiny central vortex unveiled in the vicinity of the Malagasy eastern coast.

the acceleration of the process and trigger a phase of rapid intensification. The low-level convergence, which had been deficient up to then, was definitely improving, as a result of the arrival of a lower troposphere ridge spreading from southern Africa, which brought about a southerly wind surge over the whole southwestern Mozambique Channel that converged with the monsoon flow, which was still well established equatorward. The vertical windshear, which was still strong the day before, was rapidly abating, while a classical dual upper outflow channels pattern (one poleward and one equatorward) was gradually settling. A simple glance at the infra-red imagery was enough to evaluate the almost optimal state of the upper divergence: if the convection appeared to be feeble, on the other hand the fanning out of cirrus around the meteor was radiant. Therefore the dynamic conditions were becoming extremely favourable to a full development of the system and as the oceanic heat content was rather high

over the area, with sea surface temperatures exceeding 30°C (see page 43), it was difficult to consider that the situation could remain unchanged. As a matter of fact, the convection began to pick up again before the middle of the night (so, of 18 to 19 January), with first of all the formation of a central dense overcast (CDO), of more than 150 km in diameter, in the northeastern sector near Europa Island. Peripheral convective bands then aggregated and wrapped around the central core. There was no more room for doubt then : the intensification process was launched, which was confirmed by the successive Ascat and Quikscat overpasses, which validated a strengthening of the winds within the clockwise circulation. In the morning of 19 January, while ERIC was making landfall on the Malagasy northeastern coast, FANELE was more or less analysed at the same intensity, that is to say it was about to reach the stage of severe tropical storm. But unlike its

Comme c'est souvent le cas pour les cyclones ayant atteint une certaine intensité, c'est l'initiation d'un cycle de remplacement de l'œil qui marque la fin du processus d'intensification. L'imagerie micro-onde du début de journée portait déjà les prémices de ce cycle de l'œil à venir, révélant la bande convective externe ayant commencé de s'enrouler autour de l'œil. En fin d'après-midi du 20, les images suivantes montrent un processus déjà très avancé : l'œil interne initial est sur le point de disparaître, supplanté qu'il est par l'anneau de convection externe qui, tel un serpent constricteur, l'enserme dans une étreinte fatale. Le cycle de remplacement de l'œil peut être considéré comme achevé en soirée, moment où s'évanouit toute trace de l'œil interne.

Le nouvel œil est beaucoup plus large que le précédent, faisant plus de 80 km de diamètre. L'élargissement résultant du rayon des vents maximaux n'est pas sans conséquence, puisqu'il entraîne

de facto un élargissement de la zone de vents forts, avec des effets induits loin d'être anodins, tels que l'amplification de l'impact potentiel de la marée de tempête et de la houle cyclonique. C'est là une source de préoccupation supplémentaire, alors que FANELE se rapproche désormais de Madagascar, dans une zone littorale particulièrement exposée au risque de submersion marine.

Après être "remonté" quasiment jusqu'au 20ème parallèle Sud, FANELE a, en effet, incurvé en direction du sud-est. "Plongé" dans le sillage d'ERIC, qui s'éloigne maintenant au sud-est de la Grande Ile, le cyclone s'apprête à frapper la côte malgache entre les villes de Morondava et de Morombe. La seule question qui demeure en suspens est : à quelle intensité ? Le cycle de l'œil a tout de même eu une conséquence positive, à savoir atténuer temporairement la forte intensité du météore. Jusqu'à quel point, il est toujours difficile de le dire en l'absence de mesures in situ, mais il semble probable que FANELE ait, au moins temporairement, perdu son statut de cyclone tropical intense. Mais l'interrogation essentielle reste malgré tout de savoir ce qui va se passer au cours des quelques heures qui le séparent de son atterrissage sur Madagascar.

Tout va tenir dans le comportement du nouvel œil, avec, en particulier, un point

fellow system, it was confronted with no land or other environmental constraint which could interrupt its intensification process, which therefore went on, and at a fairly fast pace (with a gain of two points in 24h on the Dvorak intensity scale, a much greater rate than the climatological norm), as could be expected.

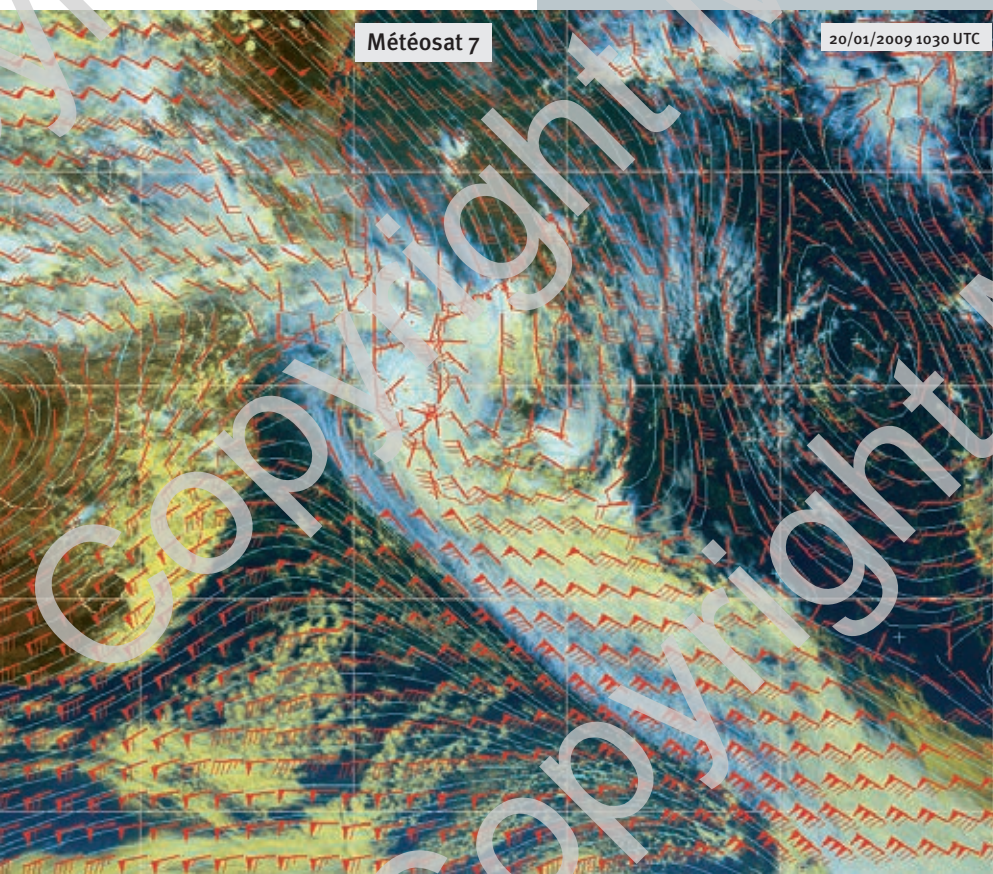
The first hint of a formative eye started to show up before midday on the visible imagery, but it remained discernible only intermittently until the end of the day. The microwave imagery depicted more clearly the ongoing intensification process, portraying a more linear evolution of the inner structure of the core of the meteor. The latter remained small, as testified by the observations of the Météo-France automatic weather station on Europa Island, where the winds did not reach near gale force until FANELE's centre drew nearer the island less than 80 km away (a peak gust of 54 knots – 101 km/h – was however recorded). They would not go beyond, thus failing to reach gale force : whereas since its origin the meteor had been drifting, rather slowly, southwestward to south-southwestward, a track that was becoming a real threat to the island, it made an about-turn by the end of the afternoon (the minimum of pressure being observed in Europa at 5 p.m. local time – 14 utc – with 998.8 hPa) and turned back to the northeast. That radical

change of track, well anticipated by the numerical models, was linked to the ridge from southern Africa, which henceforth shoved back FANELE and drove it back to its starting point (over which it would almost pass again, 24h later, towards the end of the afternoon of 20 January).

A ragged eye was unveiled on a long-term basis during the first part of the following night (19 to 20 January), which led one to consider that the threshold of tropical cyclone had been reached at that time. But the rapid intensification process extended until later in the afternoon of 20 January. And if it indeed drew the necessary energy supply to keep going at the surface, via the warm waters of the Mozambique Channel, it was in fact in the upper levels that its main driving force could be found, with an outstanding upper divergence, which boosted a particularly impressive upper outflow poleward.

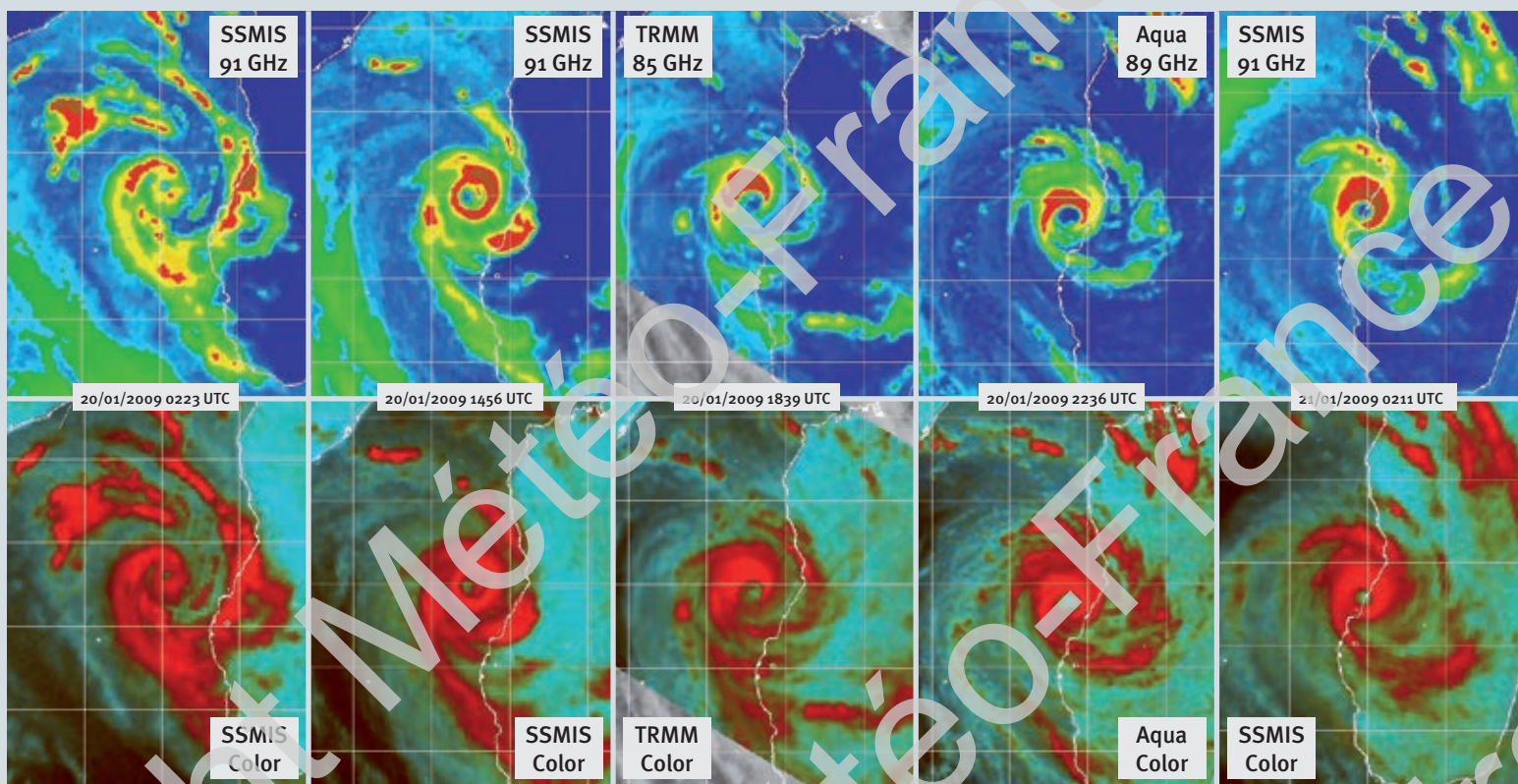
Owing to its connection with the powerful subtropical jet stream lying at the interface with the polar trough then present to the southwest of the meteor, it was able to expel the overflowing of mass thousands of km away (see image below). Ranked as an intense tropical cyclone during the morning of 20 January, FANELE reached its maximum of intensity a few hours later, at the beginning of the afternoon, with 10-min average winds estimated to have peaked at 100 knots, the strongest intensity of the season (which would, however, be equalled by GAEL).

As it is often the case with cyclones that have reached a certain intensity, it was the inception of a replacement cycle of the eye which denoted the end of the intensification



FANELE : une intensification dopée par une divergence d'altitude remarquable. Si FANELE a pu s'intensifier rapidement, il le doit essentiellement à une configuration d'altitude extrêmement favorable. Superposé à l'imagerie satellitaire, le champ de vents à 200 hPa analysé par le modèle du Centre européen montre bien la situation synoptique en altitude et comment l'organisation du flux permettait d'évacuer efficacement la masse autour du cyclone, à la fois du côté équatorial, mais surtout du côté polaire, où le puissant jet subtropical servait de relais idéal et de canal d'évacuation remarquablement efficace, comme en témoigne spectaculairement l'impressionnant panache de cirrus, s'étirant jusqu'à plus de 3000 km au sud-est de FANELE, qui le matérialise visuellement.

FANELE: an intensification boosted by a remarkable upper divergence. If FANELE has been able to intensify rapidly, it owed it essentially to an extremely favourable upper configuration. Superimposed to the satellite imagery, the 200 hPa windfield analysed by the European Centre clearly portrayed the upper synoptic situation and how the organization of the flow enabled the mass around the cyclone to be efficiently evacuated, both equatorward, but especially poleward, where the powerful subtropical jet stream acted as an ideal relay and a remarkably efficient outflow channel, as witnessed by the spectacular and impressive wreath of cirrus, stretching over more than 3000 km to the southeast of FANELE, which nicely featured this outflow channel visually.



FANELE vu par l'imagerie micro-onde, lors de son approche de Madagascar. Les 24h précédant l'atterrissage de FANELE sur la côte sud-ouest de Madagascar ont été marquées par un cycle de remplacement de l'œil, que les images micro-ondes du 20 janvier permettent d'appréhender. Avec l'élargissement temporaire du rayon des vents maximaux (qui a migré sous l'anneau de convection externe visible sur l'imagerie de 1456 utc), c'est toute la zone de vents forts qui s'est retrouvée dilatée, avec des conséquences en terme de marée de tempête et de houle cyclonique pas forcément bienvenues pour la zone côtière malgache, spécialement pour celle située du côté nord du météore où se trouvait la ville de Morondava.

FANELE as seen by the microwave imagery, as it was approaching Madagascar. The 24h preceding FANELE's landfall on the southwestern coast of Madagascar saw the occurrence of an eye replacement cycle which could be apprehended by the microwave imagery of 20 January. With the temporary widening of the radius of maximum winds (which had shifted under the outer convective ring visible on the 1456 utc imagery) it was the whole area of strong winds which distended, with consequences in terms of storm surge and cyclone swell that were not necessarily welcome for the Malagasy coastal area, especially so for the area situated on the northern side of the meteor (that included the town of Morondava).

process. The microwave imagery at the beginning of the day was already showing the premises of that eye cycle to come, revealing the outer convective band which had started to wrap itself round the eye. The next images, received in the late afternoon of 20 January, showed an already well-advanced process : the initial inner eye was about to disappear, superseded by the outer ring of convection, which, not unlike a constrictor snake, clasped it in a fatal embrace. The eye replacement cycle could be considered as over in the evening, when all traces of the inner eye vanished. The new eye was much larger than its predecessor, more than 80 km in diameter. The resulting widening of the radius of maximum winds was not without consequence, since it led de facto to the widening of the area of strong winds, with induced effects which were far from insignificant, such as the amplification of the potential impact of the storm surge and of the cyclone swell. That was a cause of further worry, as FANELE was henceforth drawing nearer Madagascar, in an area

that was particularly exposed to the risk of floods from the sea. After heading north almost as far as latitude 20°South, FANELE had, indeed, recurved southeastward. "Diving" into ERIC's wake, which was then running away to the southeast of the Great Island, the cyclone was about to hit the Malagasy coast between the towns of Morondava and Morombe. The only pending question was: with what intensity? All the same the eye cycle had had one positive consequence, namely it temporarily abated the strong intensity of the meteor. To what extent, it was still difficult to say in the absence of in situ measures, but it was very likely that FANELE had, at least temporarily, lost its status as an intense tropical cyclone. But the essential question in spite of everything was to know what was going to happen during the few hours preceding its landfall on Madagascar. Everything would depend on the behaviour of the new eye, with, in, particular, an essential point: would it shrink, which would certainly be a sign of a re-intensification of the cyclone. The microwave

primordial : va-t-il se contracter, ce qui serait certainement le signe d'une réintensification du cyclone. Les images micro-ondes qui aident à suivre la fin du cycle de l'œil, montrent dans un premier temps plutôt une tendance à l'affaiblissement, avec un œil clairement fragilisé, puisque apparaissant partiellement ouvert du côté sud en canal 85 GHz (voir image TRMM ci-dessus). Mais les toutes dernières heures précédant l'atterrissage marquent selon toute vraisemblance un renversement de tendance, avec un début de ré-intensification probable. Ce diagnostic s'appuie à nouveau sur l'imagerie micro-onde, qui montre un œil s'étant à la fois contracté et ayant gagné en définition, avec un mur de l'œil à nouveau fermé et plus puissant en terme de signature de brillance (voir images SSMIS ci-dessus). Car pour ce qui est de l'imagerie classique, elle ne permet pas de déceler un gain d'organisation quelconque, avec un œil qui demeure très mal défini, voire quasiment occulté sur les premières images en canal visible du début de journée du 21 janvier, moment

où le centre de FANELE franchit la côte, au sud de la localité de Belo sur mer. A 80 km au nord, la cité de Morondava, bien qu'ayant échappé aux vents les plus violents, est tout de même fortement secouée par les assauts du vent, qui décoiffe la plupart des habitations, tandis que la majeure partie de la ville se retrouve envahie par les eaux poussées par la marée de tempête et le vent.

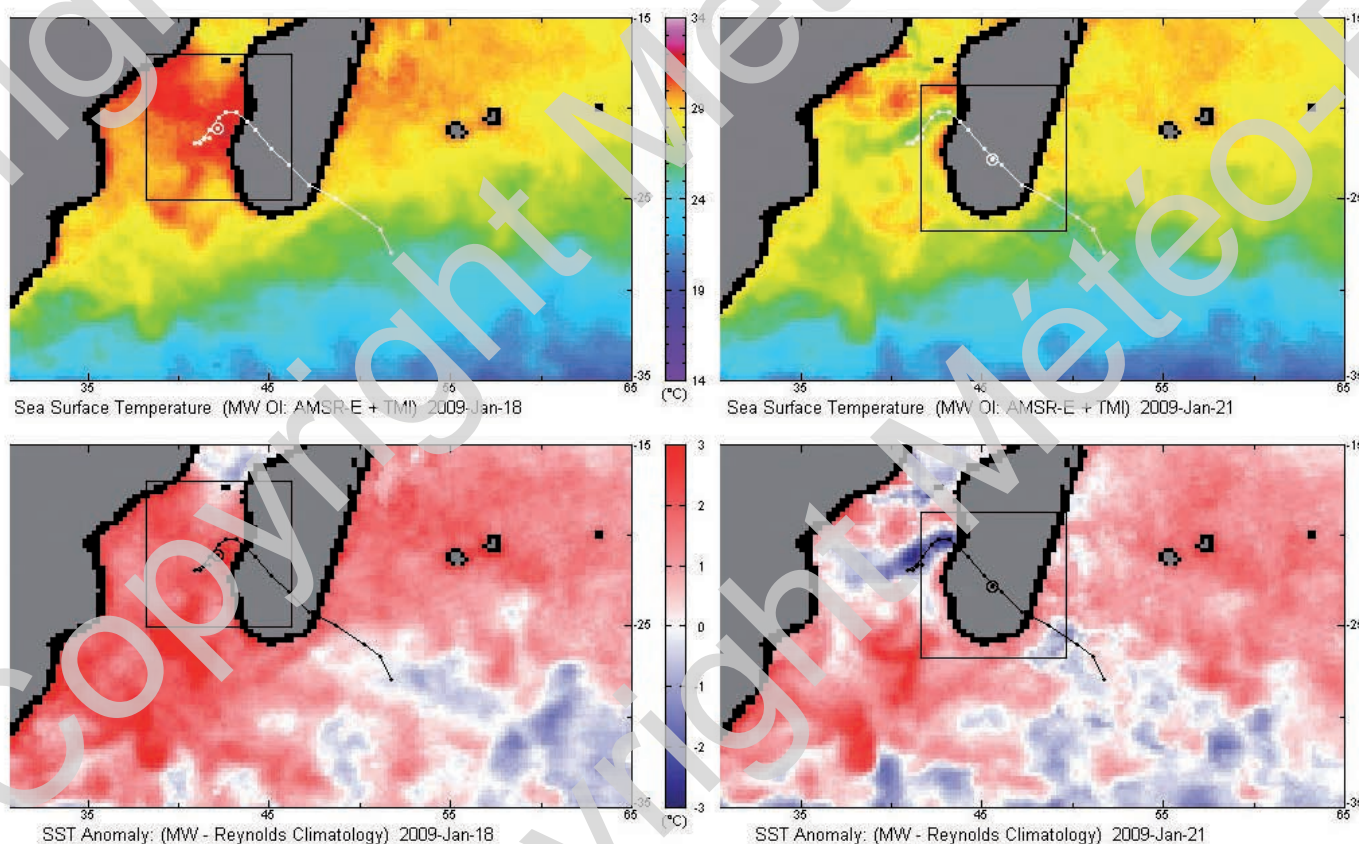
Poursuivant sa course en direction du sud-est, à 20-25 km/h, FANELE progresse assez rapidement à l'intérieur des terres et traverse tout le Sud malgache en une vingtaine d'heures, libérant au passage des quantités de pluies, qui sans être excessives excèdent localement les 100 mm. Cette traversée n'est pas sans conséquence, puisque la quasi totalité des décès attribués à FANELE ont été recensés dans le district d'Ihosy (10 morts), dans la partie centrale de la Grande Ile donc et non sur la zone côtière.

Le minimum dépressionnaire résiduel de l'ex-cyclone FANELE ressort en mer en fin de nuit du 21 au 22 janvier, au sud de la localité de Farafangana, avec une pression estimée à 1001 hPa. La structure

images that helped monitor the end of the eye cycle, showed first rather a weakening tendency, with a clearly frail eye, since it appeared to be partially open on the southern side on channel 85 GHz (see TRMM image opposite page). But during the very last hours prior landfall there was a tendency reversal, with a probable incipient re-intensification. That diagnosis was based again on the microwave imagery, which showed an eye that had both shrunk and gained in definition, with an eyewall closed again and more powerful in terms of brightness signature (see SSMIS images opposite page). As for the classical imagery, it did not make it possible to detect any gain in organization whatsoever, with an eye that remained very poorly defined, even almost obscured on the first images on the visible channel at the beginning of 21 January, when FANELE's centre came ashore, to the south of the town of Belo sur mer. 80 km to the north, although the town of Morondava had been spared the most violent winds, it was all the same violently shaken by the wind assaults, which ripped off most of the roofs of the houses, while most of

the town was invaded by the sea water pushed by the storm surge and the wind. As it kept travelling southeastward, at 20-25 km/h, FANELE cruised rather rapidly inland and crossed the entire Malagasy South in about twenty hours, pouring on its way amounts of rain, which, without being excessive, exceeded 100 mm locally. That land crossing was not without consequence, since among the casualties attributed to FANELE almost all have been registered in the district of Ihosy (10 casualties), in the central part of the Great Island and not on the coastal area.

Ex-cyclone FANELE's residual low went out to sea towards the end of the night of 21 to 22 January, to the south of the town of Farafangana, with a pressure estimated at 1001 hPa. The cloud structure, which rebuilt off the Malagasy southeastern coast matched a sheared system pattern. And as the latter, due to its southeastward trajectory, found itself topped in upper levels on a long term basis by the area of strong winds associated with the aforementioned northwesterly jet stream, there was no reason why the situation



La trace laissée par FANELE sur les eaux du Canal de Mozambique. L'aller et retour opéré par FANELE lors de son début de trajectoire, a logiquement eu un impact assez fort sur l'océan sous-jacent : les eaux initialement très chaudes du Canal de Mozambique (plus de 30°C en surface) se sont refroidies fortement dans le sillage du météore (jusqu'à plus de 4 °C de baisse de la température de surface d'après les mesures par satellite).

The trace left by FANELE on the waters of the Mozambique Channel. The fact that FANELE retraced its steps at the beginning of its trajectory, has logically had a rather severe impact on the underlying ocean: the initially warm waters of the Mozambique Channel (over 30°C at the surface) considerably cooled down in the wake of the meteor (with a drop of more than 4°C of the sea surface temperature according to the satellite measures).

21/01/2009 0211 UTC

21/01/2009 0253 UTC

FANELE au moment de son atterrissage sur la côte malgache au sud de Morondava. La signature micro-onde du météore est beaucoup plus impressionnante que l'imagerie visible et atteste de la forte intensité du cyclone. Les vents les plus forts se trouvaient certainement sous la partie nord du mur de l'œil, qui était à la fois situé dans le demi-cercle dangereux de la trajectoire et également associé à la convection la plus intense (et donc aux pluies les plus fortes, comme le montrent bien les intensités pluviométriques estimées à partir des données du sondeur).

FANELE making landfall on the Malagasy coast to the south of Morondava. The microwave signature of the meteor was much more impressive than the visible imagery and testified to the strong intensity of the cyclone. The strongest winds were certainly located under the northern part of the eyewall, which was at the same time situated in the dangerous semi-circle of the track and associated with the most intense convection (and therefore with the heaviest rainfall, as clearly shown by the rain rates estimates derived from the data of the sounder).

should change. No re-development of the convection was conceivable in particular in that adverse upper environment. In spite of that, the residual depression tended to deepen during the next 24h and the successive QuikScat and Ascat overpasses testified to the presence of gale force winds over a large part of the clockwise circulation. After reaching a secondary minimum of pressure estimated at 996 hPa during the morning of 23 January, the meteor, henceforth classified as an extra-tropical depression,

started to fill again, after crossing latitude 30°South. The next Quikscat twice-daily swaths, showed the deceleration of the winds within the clockwise circulation, which moved off towards the mid-latitudes on 26 January, mostly filled. As the first cyclone of the season, which counted only two (both intense), FANELE managed to reach quite a significant intensity, but the fact that the area of direct impact was rather sparsely populated, had fortunately limited the negative consequences for Madagascar.

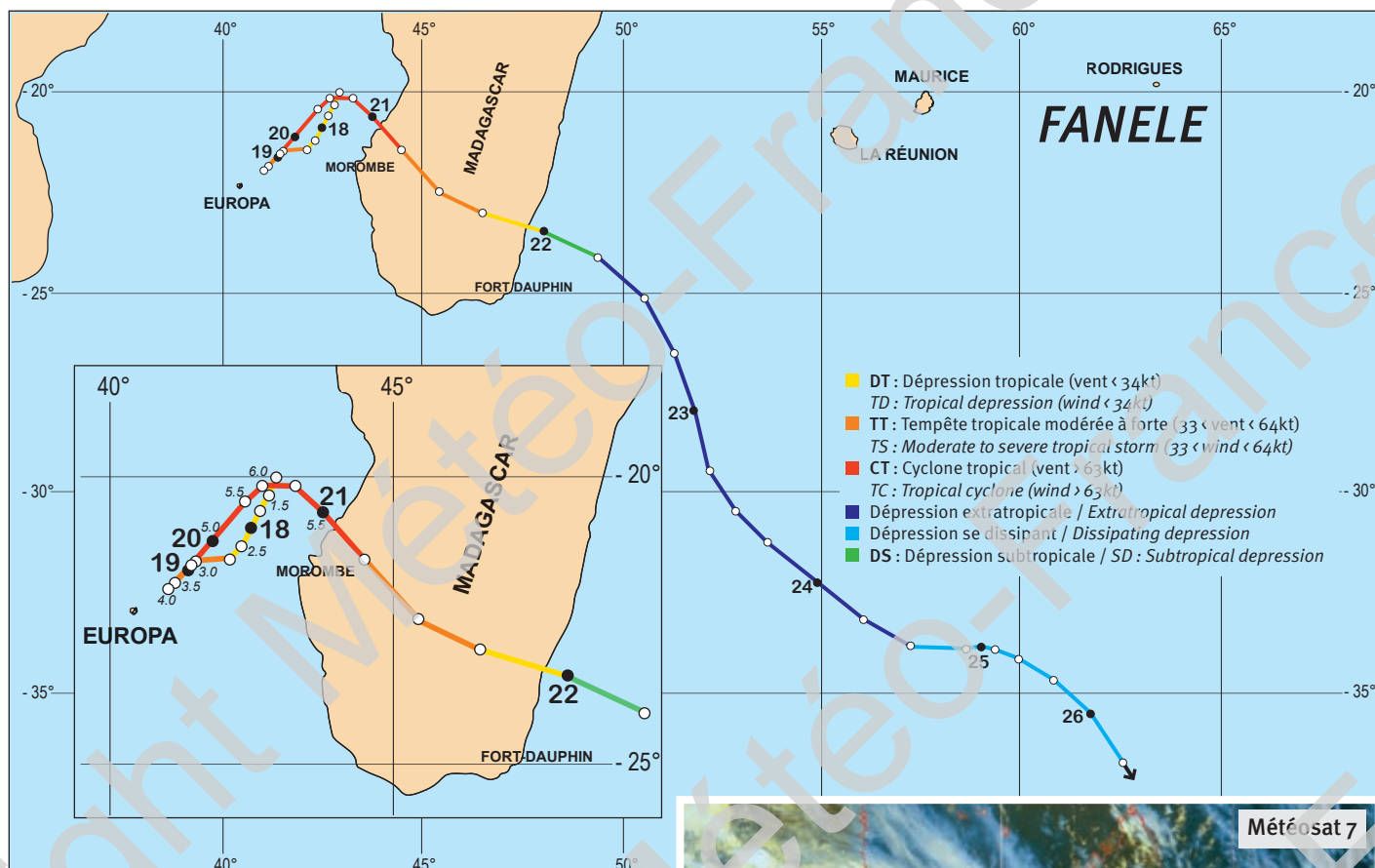
nuageuse qui se reconstitue au large des côtes sud-est malgaches s'apparente à celle d'un système cisaillé. Et comme la trajectoire sud-est de ce dernier l'amène à se retrouver durablement surmonté en altitude par la zone de vents forts associée au courant jet de nord-ouest pré-cité, il n'y a pas de raison que cela change. Aucun re-développement de la convection n'est en particulier envisageable dans cet environnement d'altitude hostile. Malgré cela, la dépression résiduelle tend à se recréuser au cours des 24h suivantes et les orbites successives QuikScat et Ascat attestent de la présence de coup de vent sur une bonne partie de la circulation dépressionnaire. Après avoir atteint un minimum secondaire de pression estimé à 996 hPa en matinée du 23, le météore, désormais classé en dépression extratropicale, recommence à se combler ensuite, une fois le 30ème parallèle Sud franchi. Les fauchées bi-quotidiennes QuikScat suivantes, témoignent de la décélération des vents au sein de la circulation dépressionnaire, qui s'évacue vers les moyennes latitudes le 26 janvier, en bonne partie comblée.

Premier cyclone de la saison, qui n'en comptera que deux au total (tous deux intenses), FANELE a réussi à atteindre une intensité conséquente, mais la densité de population relativement faible existante dans sa zone d'impact direct, a heureusement limité les conséquences négatives pour Madagascar.

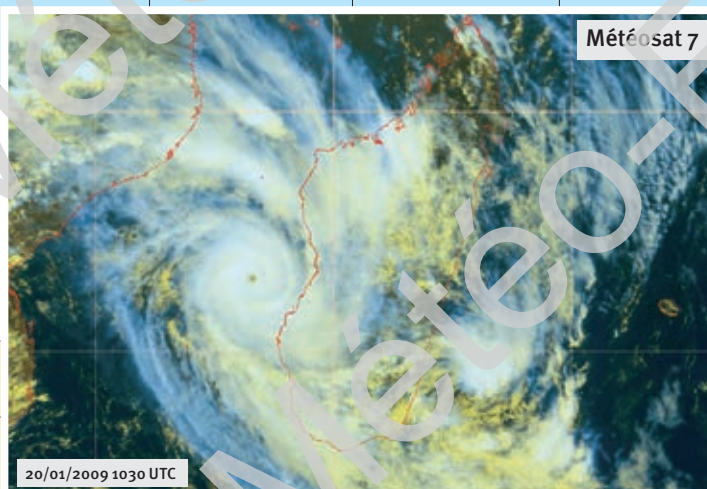
FANELE quelques heures après son atterrissage sur la côte sud-ouest de Madagascar. Plongeant dans le sillage d'ERIC, qui s'évacue alors vers le domaine subtropical au sud-est de la Grande Ile, le météore a commencé de s'enfoncer sur les terres malgaches et s'affaiblit.

FANELE a few hours after its landfall on the southwestern coast of Madagascar. Diving into ERIC's wake, which was retreating towards the subtropical domain to the southeast of the Great Island, the meteor had begun to penetrate the Malagasy hinterland and was weakening.

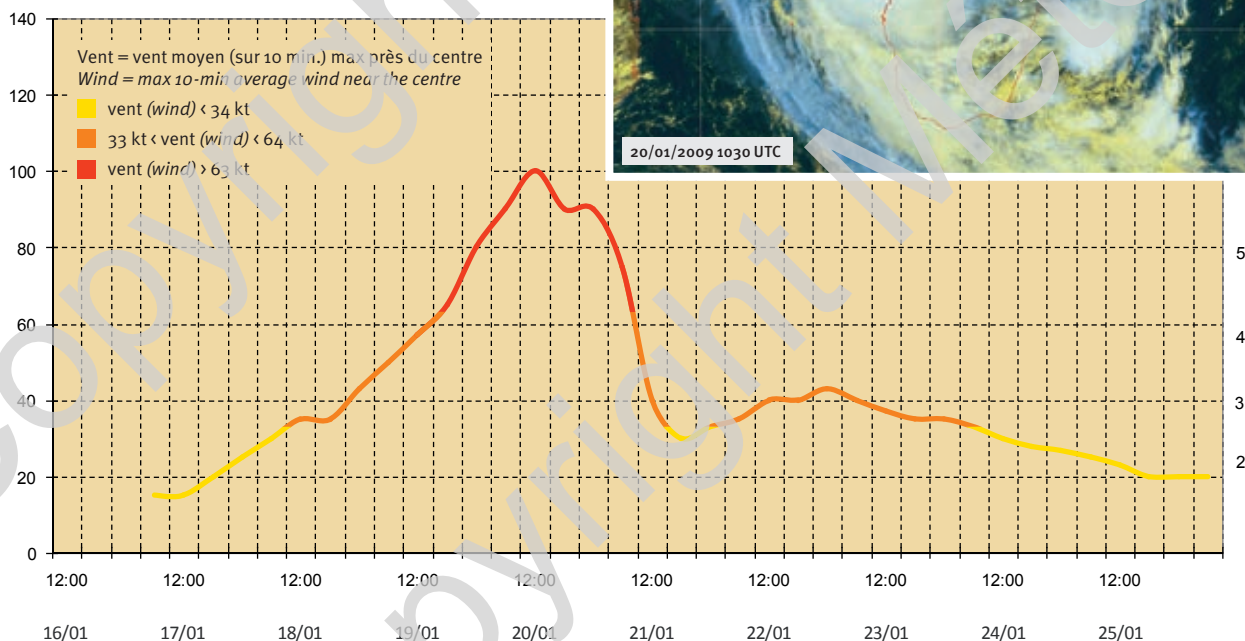
21/01/2009 0800 UTC



Le cyclone tropical intense FANELE à son maximum d'intensité menace l'Ouest de Madagascar. L'œil fait moins de 30 km de diamètre. Au même moment, les résidus de la tempête tropicale ERIC transitent au large du Sud-Est de la Grande Ile.
Intense tropical cyclone FANELE at its intensity peak threatens the West of Madagascar. The size of the eye was less than 30 km in diameter. At the same time the remnants of tropical storm ERIC were cruising off the South-East of the Great Island.



FANELE DU 17/01 AU 26/01/2009



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)

Gaël

Cyclone Tropical Intense

du 1^{er} au 12 février 2009

Intense Tropical Cyclone "Gael" (1 – 12 February 2009)



FORMATION



La reprise d'activité convective intervenue sur l'ouest du bassin juste après la mi-janvier, qui avait débouché sur les cyclogenèses d'ERIC et de FANELE, marquait l'occurrence d'une nouvelle phase active de l'oscillation de Madden-Julian. Celle-ci se propageant naturellement vers l'est au cours des semaines suivantes, son arrivée sur la partie est de l'océan Indien tropical allait y provoquer les mêmes effets : renforcement de l'activité convective et risque de cyclogenèse accru, ce qui se concrétisait par la formation début février de la tempête tropicale FREDDY au nord-ouest de l'Australie.

Mais dans le même temps, le risque de cyclogenèse n'avait pas pour autant quitté la partie Sud-Ouest de l'océan Indien. En fait l'activité perturbée allait s'y prolonger au-delà de la pulsation de la MJO, du fait de l'arrivée d'une onde équatoriale de Rossby (se propageant elle d'est en ouest), qui allait soutenir l'activité convective début février, retardant ainsi la transition vers la période d'inactivité potentielle liée à l'occurrence de la phase sèche de la MJO, et raccourcissant également de facto sa durée (d'où la relativement brève accalmie avant la survenue de la cyclogenèse suivante – celle d'HINA).

C'est dans ce contexte, qu'une zone d'activité convective relativement étendue se développe à la toute fin du mois de janvier dans le secteur sud à sud-ouest des Chagos. Une large circulation dépressionnaire lui est associée, avec un minimum de pression analysé à proximité du 15^{ème} parallèle Sud et légèrement à l'est du 70^{ème} méridien Est. Les vents, tels qu'estimés d'après

les données QuikScat, sont relativement faibles, surtout du côté alizés. Mais cette faiblesse et la convergence quelque peu déficiente du côté sud qui en résulte, sont prévues s'améliorer dans les 48h à venir, avec la reconstruction des hautes pressions subtropicales et une alimentation en surface dès lors beaucoup mieux établie.

Le 1^{er} février, on note un regroupement de la convection, qui se focalise autour d'un foyer principal situé au sud-ouest du centre de basses pressions, pour sa part identifiable par des lignes de cumulus à la courbure cyclonique. On est là dans une configuration de début de vie des plus classiques, avec un système embryonnaire positionné légèrement au nord de l'axe de la dorsale d'altitude et soumis à un cisaillement vertical de vent modéré d'est. Le lendemain, on ne note pas de changement notable, si ce n'est un renforcement de la convection, avec un amas de convection profonde assez marqué présent dans le secteur nord-est de l'île Rodrigues. Mais le déphasage entre le centre de basses couches et la convection perdure. Avec cette convection pérenne non loin à l'ouest du minimum dépressionnaire, il ne fait toutefois guère de doute que celui-ci a commencé de se creuser. Le système est classé en perturbation tropicale en milieu de journée de ce 2 février.

Les choses s'accroissent la nuit suivante, avec un gain d'organisation beaucoup plus évident cette fois. L'augmentation de la vorticité est patent   tous les niveaux : la convection affiche un début de courbure cyclonique absent jusque là, tandis que le lendemain au lever du jour se dévoile, pour bonne part exposé au sud-est de la convection, un vortex de nuages bas relativement impressionnant, à la fois

par sa taille et sa définition. L'excellente couverture en données diffusiométriques, avec une belle succession de fauchées Ascat et QuikScat entre le 2 et le 3 février, a bien appréhendé les détails de toute cette évolution, montrant de manière cohérente et concordante le creusement opéré dans l'intervalle. La présence de vents de la force du grand frais, à la limite du coup de vent même localement, sur un peu plus de la moitié de la circulation dépressionnaire (le demi-cercle est essentiellement), au sein de la couronne nuageuse matérialisant le vortex, justifie un classement en dépression tropicale. Le rayon des vents maximaux est très large   ce stade – environ 100 km – avec une plage de vents faibles de dimension tout à fait significative sise au cœur du vortex.

ÉVOLUTION

Malgré une contrainte cisaillée, de composante sud-est désormais, assez forte (près de 20 nœuds d'après le CIMSS), le météore est donc parvenu à se creuser. A noter au passage, que ce creusement a pu être quantitativement validé précisément, le centre du vortex transitant, dans l'après-midi de ce 3 février, à proximité immédiate d'une bouée dérivante, dont le minimum de pression observé de 998 hPa est à la fois conforme au statut de dépression tropicale dont est alors crédité le phénomène, mais confirme également ce que l'on pouvait suspecter au vu de l'imagerie satellitaire, à savoir que le système connaît un petit "coup de moins bien" et a cessé de se creuser.

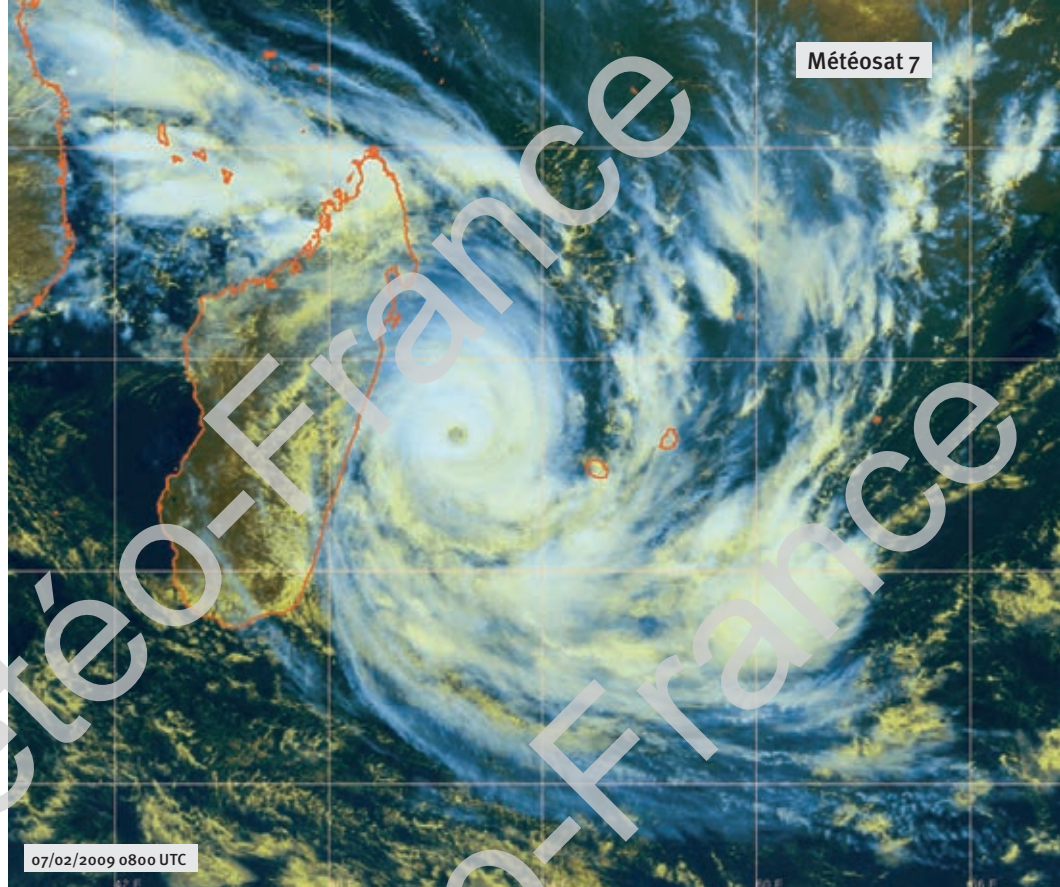
Cette tendance se prolonge jusqu'en première partie de nuit suivante, avec une organisation nuageuse qui continue de péricliter quelque peu. Mais ce petit passage à vide va finalement s'avérer temporaire. Il prend fin avec le développement d'un puissant amas de convection profonde dans le secteur nord-ouest de la dépression en deuxième partie de nuit du 3 au 4. Ce qui n'aurait pu être qu'une classique bouffée de convection de fin de nuit, perdure le restant de la journée. Faisant mieux que résister au cycle diurne, la convection devient même localement intense dans l'après-midi. La contrainte cisaillée de sud-est, bien que toujours d'actualité, est donc impuissante à repousser la convection suffisamment sous le vent et celle-ci siège durablement au voisinage immédiat du minimum dépressionnaire, relançant le processus de creusement.

Ce qui constitue désormais sans ambiguïté la tempête tropicale modérée GAEL (baptisée de manière un peu anticipée

au matin du 3, au moment où sur la lancée de sa première phase d'intensification elle semblait déjà sur le point d'atteindre ce stade), se déplace désormais quasiment plein ouest, le long de la bordure nord d'une cellule anticyclonique de moyenne troposphère positionnée au sud des Mascareignes, qui l'a obligée à infléchir sa trajectoire initialement plutôt orientée ouest-sud-ouest. Le centre du météore transite ainsi, en fin de journée, à environ 150 km au sud de l'archipel de St-Brandon, qui subit de très fortes précipitations sous l'amas de convection précité (sur l'îlot St-Raphaël, 129 mm de pluies s'abattent en l'espace de 12h, mais l'épisode pluvieux dure au total près de 36h, avec un cumul de 266 mm).

Quelques heures plus tard, la structure nuageuse se modifie et évolue vers une configuration de type bande incurvée, de plus en plus affirmée au fil des heures. Le seuil du stade de forte tempête tropicale est considéré franchi au matin du 5 février, alors que le centre de la perturbation passe au plus près de l'île Maurice (à un peu plus de 200 km au large). Le cisaillement vertical de vent est à la baisse et les conditions environnementales sont prévues s'améliorer encore : la divergence d'altitude, pour l'heure cantonnée au seul secteur équatorial, étant amenée à bénéficier de l'approche d'un talweg polaire par le sud-ouest, ce qui devrait entraîner la constitution, sous 48h, d'un canal d'évacuation du flux sortant d'altitude supplémentaire, du côté sud.

Conformément à ce contexte favorable, GAEL va effectivement se renforcer progressivement. Un œil, encore relativement mal défini, se constitue dans la nuit du 5 au 6 et le météore est classé cyclone tropical en fin de nuit. L'imagerie micro-onde montre alors un "œil" ouvert du côté nord, qui peinera à se refermer ensuite. Sur l'imagerie classique, l'évolution est un peu plus manifeste, avec un œil encore déchiqueté au matin du 6, qui gagne nettement en définition l'après-midi. L'analyse Dvorak en infrarouge renforcé et les intensités dérivées des données AMSU-A, concordent à considérer que le maximum d'intensité est atteint en tout début de journée du 7 février. Ce pic d'intensité se situe à un niveau peut-être moindre que ce à quoi l'on pouvait s'attendre au vu de la situation environnementale et de l'Intensité Maximale Potentielle, mais GAEL est malgré tout devenu un cyclone de forte intensité, avec des vents moyens sur 10 min estimés culminer à 100 nœuds (ce qui signifie des rafales maximales sur mer de l'ordre de 260 km/h).



Le cyclone tropical GAEL à son maximum d'intensité entre Madagascar et l'archipel des Mascareignes.
Intense tropical cyclone GAEL at its maximum of intensity between Madagascar and the Mascarene Archipelago.

FORMATION

The revival of convective activity observed in the western part of the basin just after mid-January, which had led to the cyclogenesis of ERIC and FANELE, coincided with the occurrence of a new active phase of the Madden Julian oscillation (MJO). As the latter naturally spread eastward during the following weeks, its arrival in the eastern part of the tropical Indian Ocean was to produce the same effects : the strengthening of convective activity and induced enhanced likelihood of cyclogenesis, which materialized with the formation of tropical storm FREDDY to the northwest of Australia.

But at the same time, the risk of cyclogenesis had not cleared out the southwestern part of the Indian Ocean nevertheless. In fact the disturbed activity was to persist after the MJO pulse, in connection with the arrival of an equatorial Rossby wave (propagating, as for it, from east to west) which was to sustain the convective activity at the beginning of February. Thus delaying the transition toward the period of potential inactivity related to the occurrence of the dry phase of the MJO, it moreover de facto shortened its duration (hence the relatively brief period of lull before the advent of the next cyclogenesis – that of HINA).

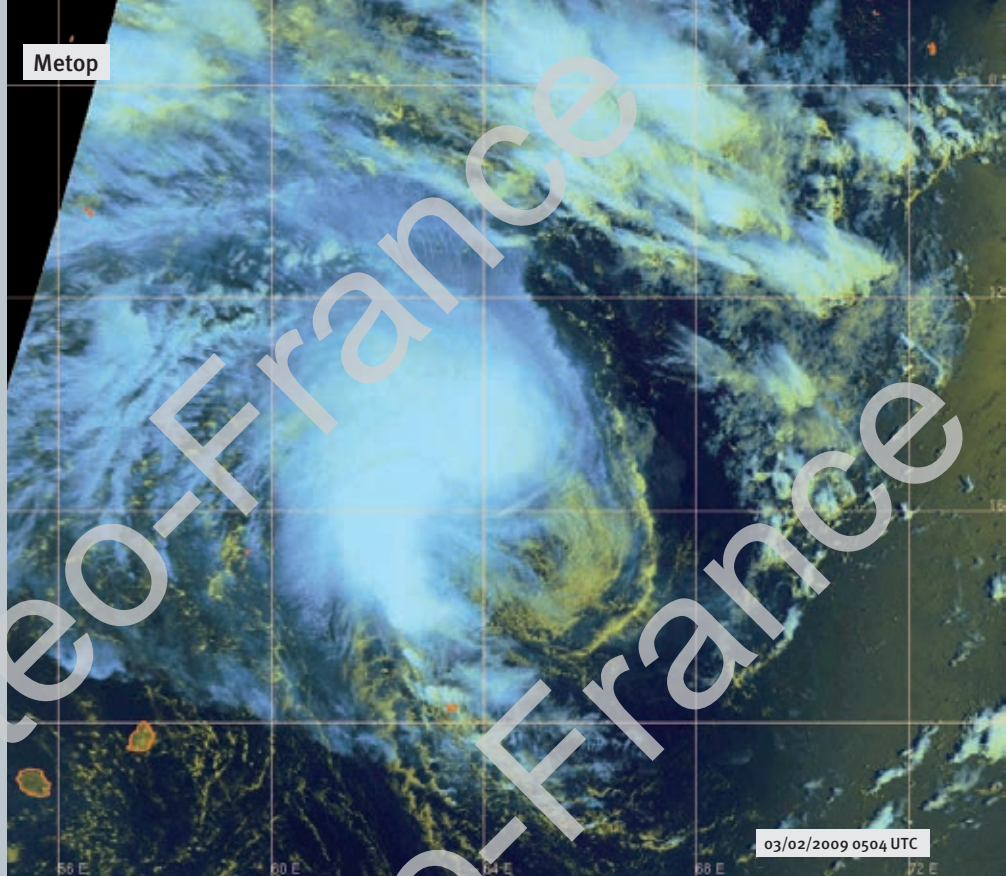
It was in that context that a fairly extensive zone of convective activity developed at the very end of January to the south and southwest of the Chagos Archipelago. A wide low-pressure circulation was associated to it, with a minimum low spotted in the vicinity of latitude 15°South

and slightly to the east of longitude 70°East. The winds, as assessed from the QuikScat data, were relatively weak, mainly on the trade wind side. But that weakness and the resulting somewhat deficient convergence on the southern side were anticipated to improve during the next 48h, with the rebuilding of the subtropical high fostering the surging of surface trade winds from then on. On 1st February, convection gathered noticeably, focusing around a main nucleus situated to the southwest of the low-pressure centre, which could be identified by winding lines of cumulus clouds with cyclonic curvature. That was a configuration of a most typical early life-cycle, with an embryonic system positioned slightly to the north of the upper ridge axis and undergoing moderate easterly vertical windshear. On the following day, no significant change was noticeable, except a strengthening of convection, with a fairly prominent cloud cluster of deep convection standing out in the northeastern sector of Rodrigues Island. But the decoupling between the low-level centre and convection still persisted. With that convection perennially established not far from the minimum low, there was no doubt yet that the latter had started deepening. The system was thus ranked as a tropical disturbance toward midday on 2 February. Things started getting faster on the following night, with a much more obvious gain of organization this time. The increase in vorticity was patent : convection displayed incipient cyclonic curvature inexistent until then, while on

the following day, a vortex of low clouds, fairly impressive both for its size and definition, unveiled at dawn, being mostly exposed to the southeast of the convection. The excellent coverage in scatterometer data, with a fine succession of Ascat and QuikScat swaths between 2 and 3 February, had permitted to well capture the details of all that evolution, showing, in a coherent and corroborating way, the deepening that took place in the interval. The presence of near gale force winds, bordering on gale force winds even locally, over a little more than half of the clockwise circulation (the eastern semi-circle essentially), beneath the crown of clouds materializing the vortex, justified the upgrading of the system into a tropical depression. The radius of maximum winds was very wide at that stage – about 100 km – encircling an area of weak winds of quite significant size lain within the core of the vortex.

EVOLUTION

So, in spite of a rather strong, and from then on southeasterly, sheared constraint (almost 20 knots according to the CIMSS), the meteor had managed to deepen. Incidentally it should be noticed that the deepening could be quantitatively precisely validated, as the centre of the vortex transited, during the afternoon of 3 February, right near a drifting buoy. The minimal pressure observed then (998 hPa) was both in accordance with the tropical depression status ascribed to the system, but also confirmed what could be suspected when looking at the evolution portrayed on the satellite imagery, namely that the system was undergoing a bout of fainting and had stopped deepening. That tendency lasted until the first half of the following night, with a cloud organization which went on decaying somewhat. But that difficult spell eventually proved to be temporary. It came to an end with the development of a powerful cluster of deep convection in the northwestern sector of the depression during the second half of the night of 3 to 4 February. What could have been nothing but a classical outburst of convection at the end of the night, lasted during the rest of the day. Doing more than simply resisting the diurnal cycle, convection even became locally intense during the afternoon. The southeasterly sheared constraint, although still present, was thus incapable of shoving back the convection sufficiently downwind. And as the convection stayed durably in the immediate vicinity of the low centre, the deepening process resumed. What henceforth unambiguously constituted moderate tropical storm GAEL



Le futur GAEL s'apprête à transiter au nord de l'île Rodrigues. Alors au stade de dépression tropicale, le système s'est développé au cours de la nuit précédente, malgré une contrainte cisailée de sud-est modérée qui empêche la mise en phase entre la convection et la circulation dépressionnaire de basses couches, dont le cœur est associé à un large vortex nuageux. La partie centrale de ce dernier correspond à une zone de vents faibles, tandis que les vents les plus forts se situent dans la partie est de la couronne de nuages qui matérialise le vortex.

Future GAEL when about to transit to the north of Rodrigues Island. At the time classified as a tropical depression, the system had just developed during the previous night, despite a moderate southeasterly sheared constraint which hampered the coupling between convection and the low-level clockwise circulation, whose core was associated with a wide cloud vortex. The central part of the latter corresponded to a zone of weak winds, whereas the strongest winds were situated in the eastern part of the cloud crown which materialized the vortex.

(named a bit too much in a hurry in the morning of 3 February, at the moment when, forging ahead on its first intensification phase, it already seemed verging upon that stage), was tracking almost due west now, along the northern boundary of a high cell of mid-troposphere positioned south of the Mascarene, which had forced it to bend its track (initially heading more or less west-southwest-ward). Thus the centre of the meteor transited, toward the end of the day, about 150 km to the south of the St-Brandon Archipelago, which underwent very heavy rainfall under the aforementioned convective cloud cluster (129 mm of rain poured on the St-Raphaël Islet in 12h, but the rain episode lasted all in all almost 36h, with a total recorded amount of 266 mm). A few hours later, the cloud structure was modified, converting into a curved band pattern which became increasingly wrapped as hours passed. The threshold of severe tropical storm stage was considered as being crossed in the morning of 5 February, while the centre of the disturbance passed at its closest to Mauritius Island (slightly more than 200 km offshore). The vertical windshear was on a weakening trend and the environmental conditions were expected to go on improving : as the upper divergence,

Le moment de ce maximum d'intensité correspond, et c'est là une configuration très classique, au point de recourbement de la trajectoire de GAEL et donc au point le plus à l'ouest de sa trajectoire, avant que ne survienne, au voisinage du 20^{ème} parallèle Sud et à quelque 280 km de la côte est de Madagascar (ainsi épargnée), un changement de cap en direction du sud-sud-est. Précédé d'un ralentissement, avec, dans un premier temps, adoption d'un déplacement en direction du sud-ouest, ce changement de trajectoire répond à la modification du flux directeur induite par l'évolution de la situation en moyenne troposphère. La cellule anticyclonique, initialement positionnée au sud des Mascareignes, est remontée en direction du nord-est, tout en basculant d'une orientation zonale à une orientation méridienne. Glissant ainsi à l'est de GAEL, elle a laissé place à un col barométrique au sud du météore, faiblesse dans le champ de pression en direction de laquelle le cyclone s'engouffre désormais.

La phase d'affaiblissement de GAEL qui s'amorce après le maximum d'intensité, va être tout sauf brutale. En fait, les paramètres environnementaux plaideraient plutôt pour une poursuite de l'intensification : le contenu énergétique océanique

demeure important (avec des températures de surface de la mer de 28-29°C) ; le cisaillement vertical de vent, devenu proche de zéro depuis la veille, va rester très faible tout au long de cette journée du 7 février, tandis que la divergence d'altitude est excellente, avec, comme prévu, l'établissement d'une configuration à deux canaux pour l'évacuation du flux sortant d'altitude. Le début d'affaiblissement de GAEL n'est donc pas dû à une altération des conditions environnementales, mais semble répondre aux processus internes mis en jeu à partir du recourbement.

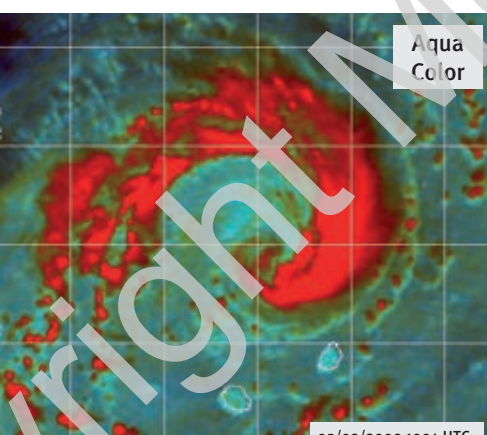
Les bandes convectives externes qui gravitaient jusque là autour du cœur du cyclone, étaient restées d'ampleur limitée, à la fois quantitativement et dans le temps.

confined for the time being only to the equatorial sector, was led to benefit from the approach of a polar trough from the southwest, which should bring about the formation, within 48h, of a supplementary upper outflow channel, on the southern side.

Complying with that favourable context, GAEL was actually to gain strength gradually. An eye, still relatively ill-defined, took shape during the night of 5 to 6 February and the meteor was upgraded into a tropical cyclone at the end of the night. The microwave imagery then showed an "eye" open on the northern side, which was to close up with difficulty afterwards. On the classical imagery, the evolution was a bit more definite, with, in the morning of the 6th, a still ragged eye, which became far more clearly defined in the afternoon. The enhanced infrared Dvorak analysis and the intensities derived from the AMSU-A data concurred to consider that the maximum intensity was reached at the very beginning of the day of 7 February. Despite the fact that the intensity had levelled off at a probably lower maximum intensity than what

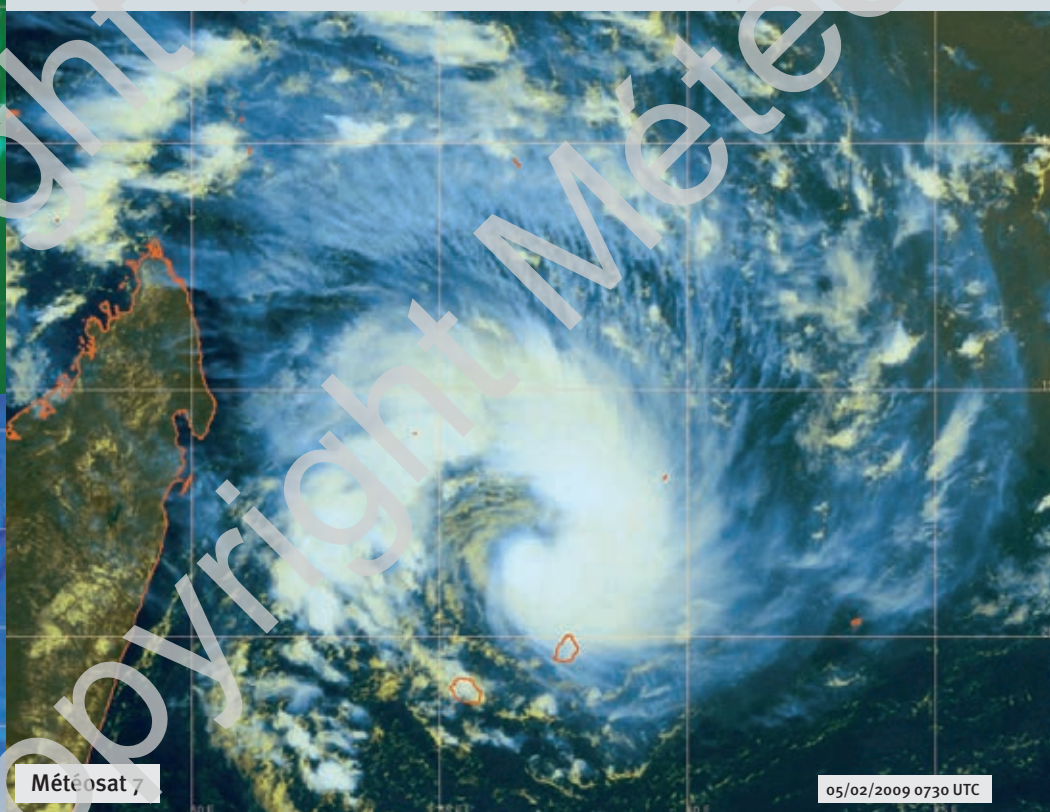
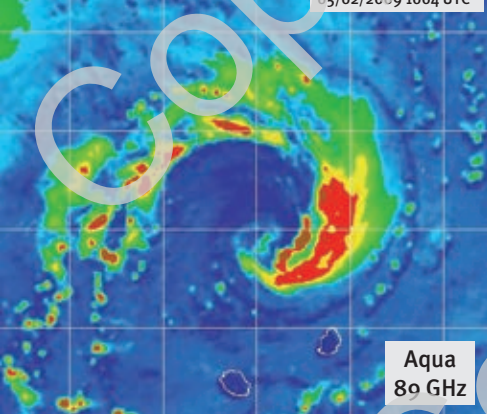
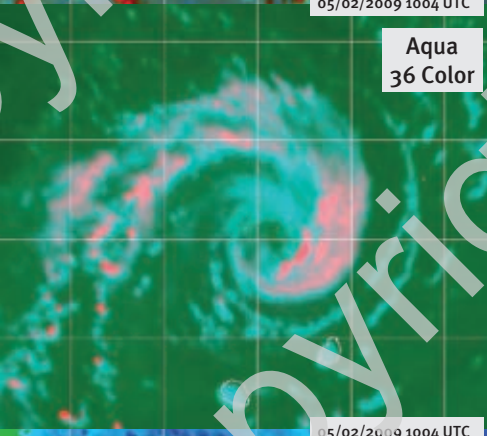
could have been expected considering the environmental situation and the Maximum Potential Intensity, GAEL had become a cyclone of strong intensity however, with 10-min average winds estimated to culminate at 100 knots (which meant that peak gusts at sea were about 260 km/h).

The moment of that intensity peak corresponded, and that is a very classic pattern, to the recurving point of GAEL and therefore to the westernmost point of its track, occurring prior to a change of heading towards the south-southeast which took place in the vicinity of latitude 20°South and some 280 km from the east coast of Madagascar (thus spared). Preceded by a slowdown, with at first a southwesterly motion, that shift of heading reflected the alteration of the steering flow induced by the evolution of the situation in mid-troposphere. The anticyclone cell, initially positioned to the south of the Mascarene, had displaced northeastward, and at the same time, switched from a zonal orientation to a meridian-like orientation. Thus sliding along to the east of GAEL, it gave way to

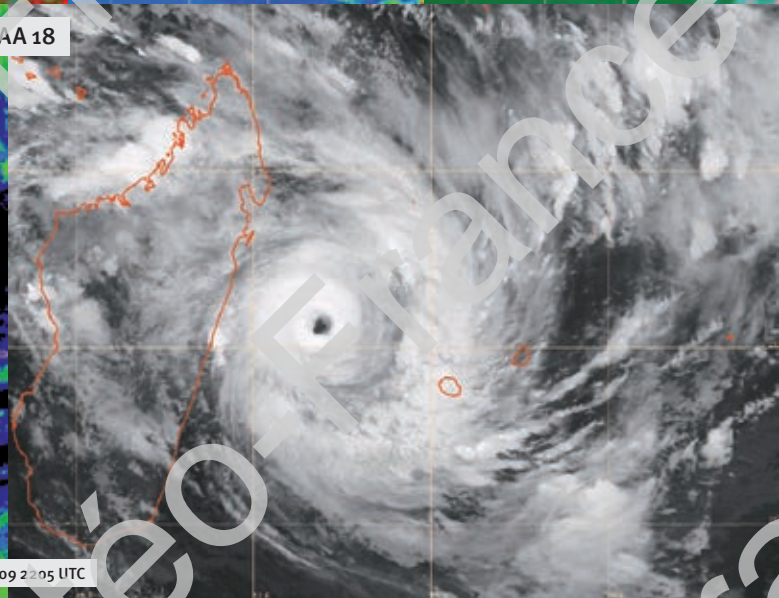
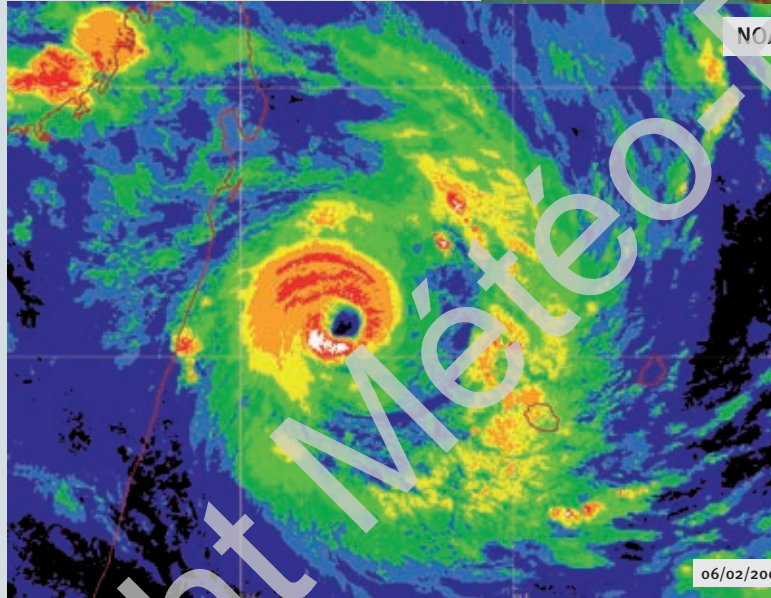
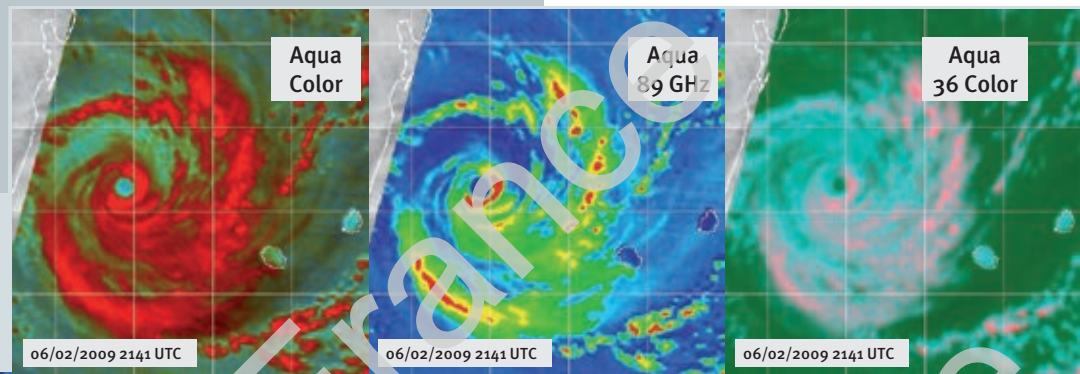


GAEL transite au nord de l'île Maurice, simplement "égratignée" par la partie active du système nuageux. Désormais classé forte tempête tropicale, le météore arbore une belle structure en bande incurvée. La divergence d'altitude, quasiment inexistante du côté sud, est par contre spectaculaire du côté équatorial, comme en témoigne l'épanchement généreux des cirrus dans le demi-cercle nord. On devine également, bien visible sous la tête de la bande incurvée, la présence d'un vortex nuageux central en basses couches.

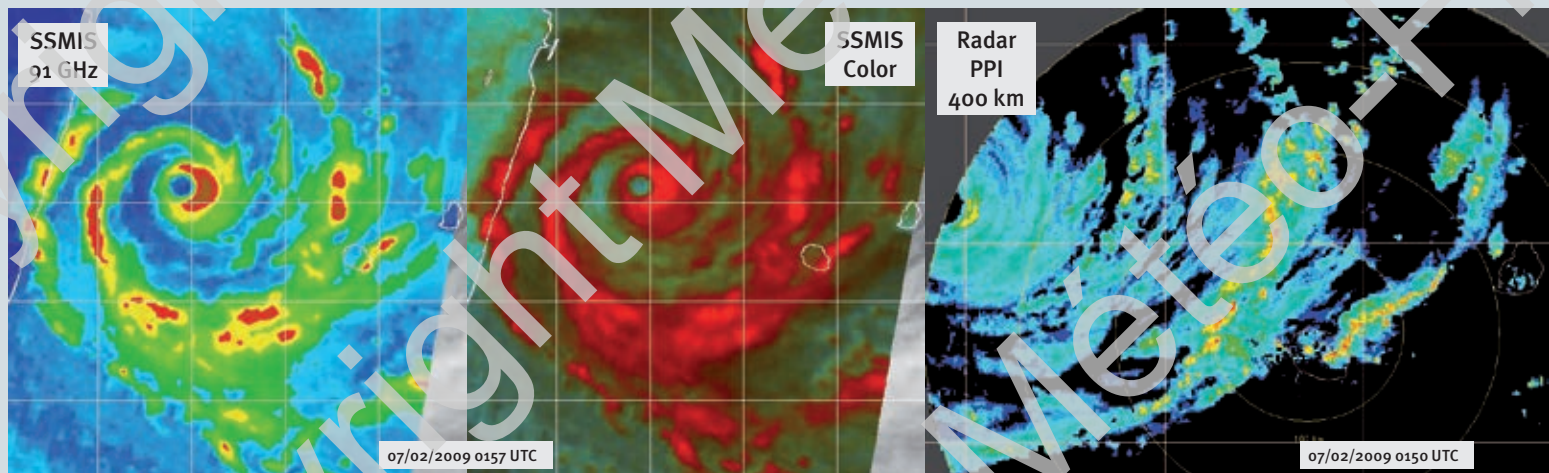
GAEL transiting to the north of Mauritius, merely "scratched" by the active part of the cloud system. Henceforth ranked as severe tropical storm, the meteor displayed a nice curved band pattern. The upper divergence, almost non-existent on the southern side, is on the contrary spectacular equatorward, as witnessed by the generous fanning of the cirrus in the northern semi-circle. It is also possible to notice, clearly visible under the head of the curved band, the presence of a central vortex of low clouds.



Phase finale d'intensification de GAEL avant son maximum d'intensité. L'œil est désormais complet et son diamètre est d'environ 55 km. Une bande de convection externe est sur le point de toucher l'île de La Réunion et vient s'enrouler autour du cœur central du cyclone, préfigurant une velléité de cycle de l'œil.



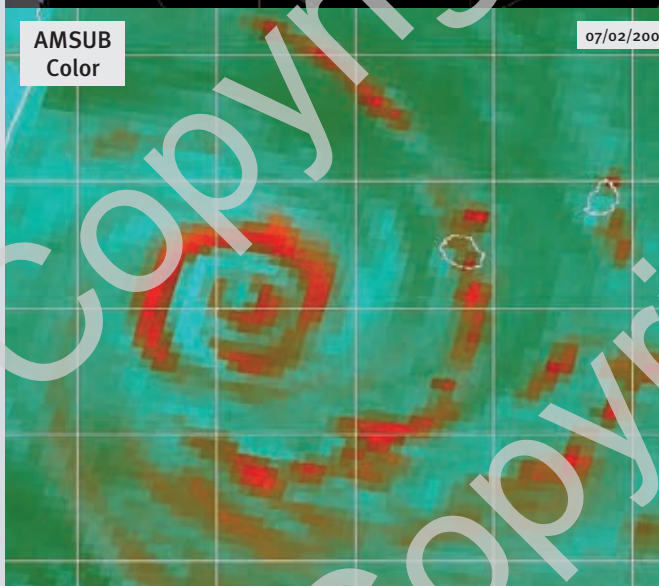
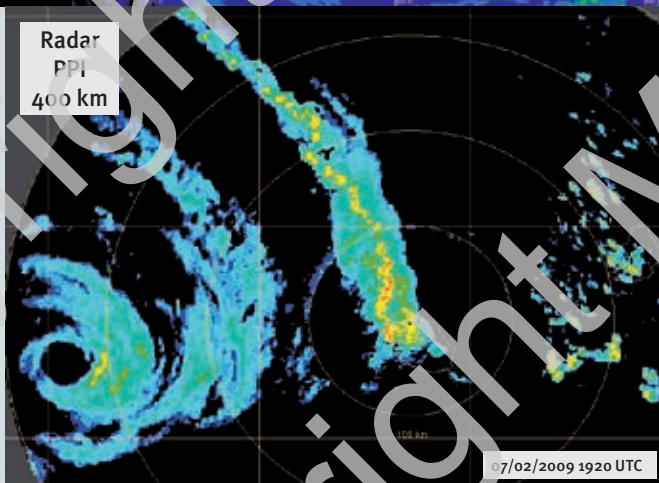
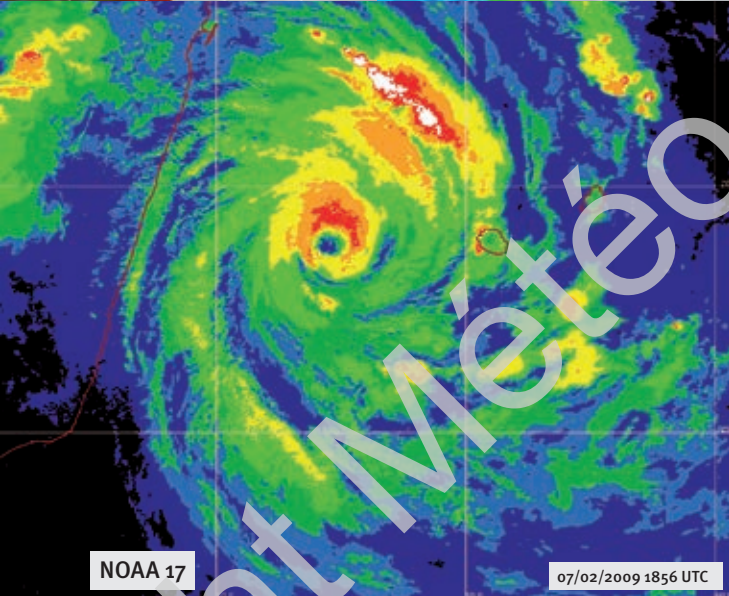
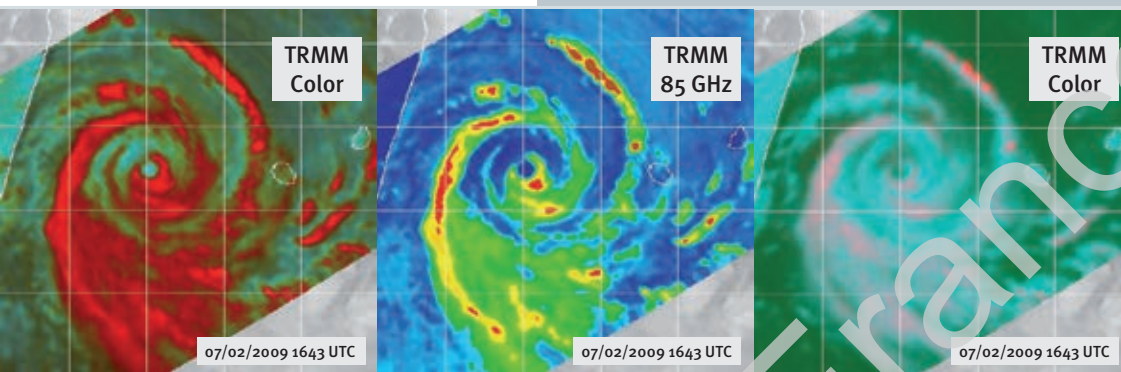
GAEL's final phase of intensification before its maximum of intensity. The eye was henceforth complete and its diameter was about 55 km. An outer convective band was about to touch Réunion Island and wrapped around the inner core of the cyclone, foreshadowing an incipient eye replacement cycle.



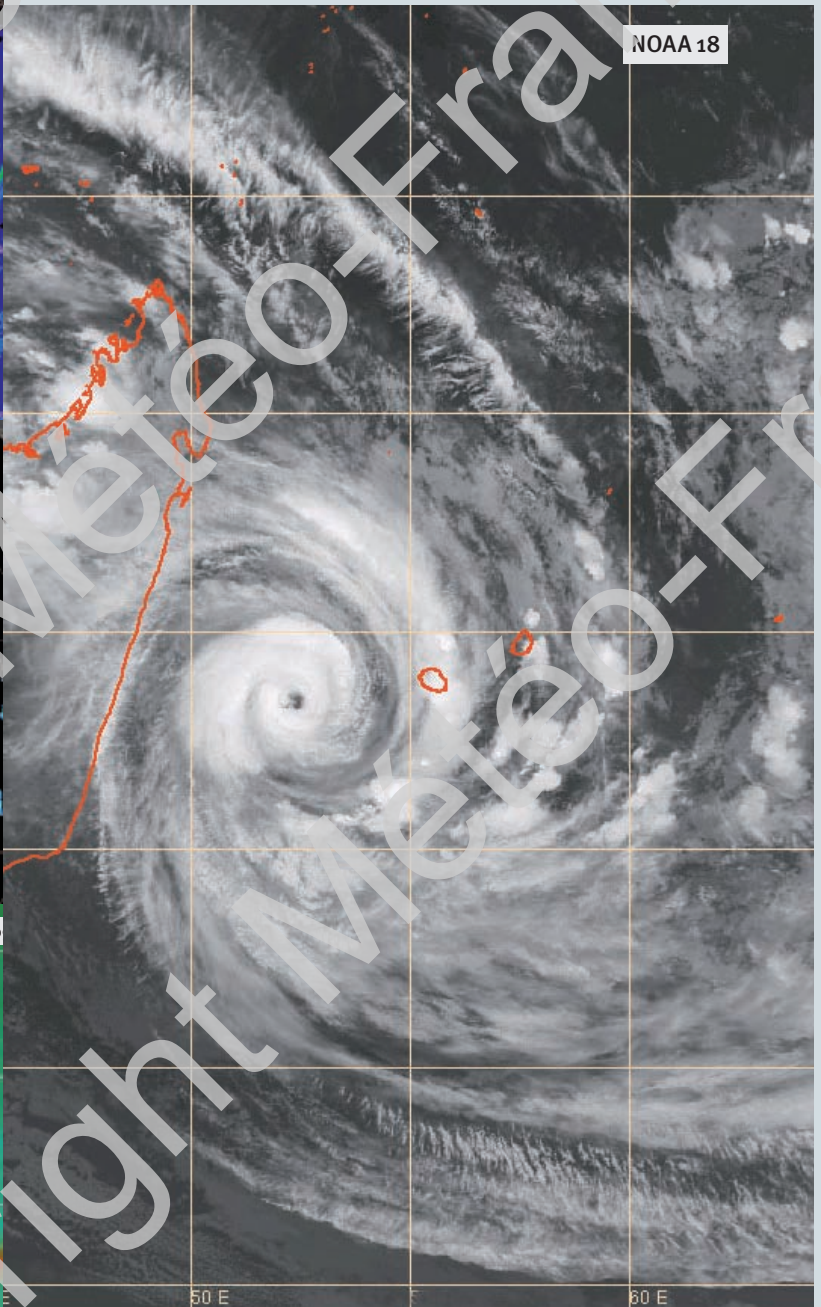
a batometric col south of the meteor, a weakness in the pressure field towards which the cyclone rushed henceforth. GAEL's weakening phase which initiated after the maximum of intensity, was to be anything but brutal. In fact the environmental parameters would rather lean for the continuation of the intensification process : the oceanic heat content remained important (with sea surface temperatures of 28-29°C) ; the vertical windshear, almost zero since the day before, was to remain marginal during the whole day of 7 February, while the upper divergence was excellent, with, as forecasted, the setting of a dual channel pattern for the upper outflow. Therefore the beginning of GAEL's weakening was not due to a deterioration of the environmental condi-

tions, but seemed to be a consequence of the inner processes involved from the moment of the system's recurvature. The outer convective bands that had orbited up to then around the core of the cyclone, had remained limited, both quantitatively and temporally. But at the beginning of the day of 7 February, when GAEL had reached its climax, the formation of a conspicuous outer cloud band could be observed, which wrapped around the very core of the meteor (see microwave imagery above). From that cloud band a closed convective ring was to build around the inner eye, a well know pattern, which classically ushers an eye replacement cycle to occur. However, the process which led to that configuration

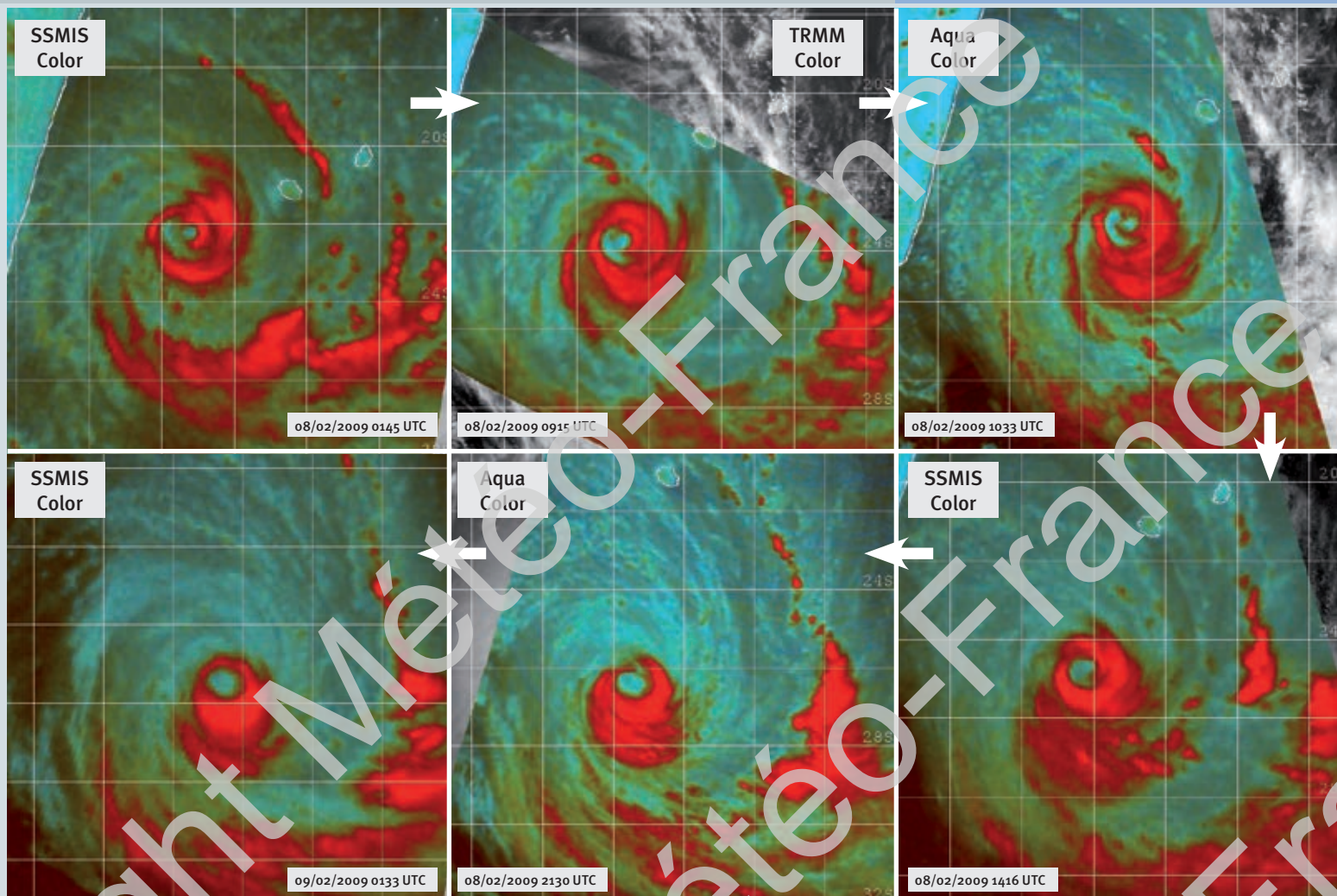
Mais en début de journée du 7, quand GAEL est à son apogée, on note la constitution d'une importante bande nuageuse externe, qui vient s'enrouler jusqu'au cœur du météore (voir imagerie micro-onde ci-dessus). A partir de cette bande nuageuse, va se constituer un anneau de convection fermé autour de l'œil interne, un scénario bien connu, qui signe classiquement un cycle de remplacement de l'œil à venir. Le processus aboutissant à cette configuration est toutefois assez lent, puisque nécessitant 24h. Et il faudra une bonne dizaine d'heures supplémentaires pour que le cycle de l'œil aille à son terme, le mur de l'œil interne résistant assez bien en matinée du 8, avant d'aller ensuite en se



GAËL transite entre Madagascar et La Réunion. Si la Grande Ile, située dans le bon demi-cercle, est finalement peu touchée par le météore, La Réunion est pour sa part concernée par une bande nuageuse périphérique active, qui balaye l'île en cours de nuit. Le passage de cette ligne de grains s'accompagne, l'espace de quelques heures, de violents orages et de fortes rafales de vents. Le cœur du météore est dans le même temps le siège d'une amorce de cycle de l'œil, avec un anneau de convection externe venu entourer l'œil interne, dont le mur de l'œil a commencé de se déliter.



GAËL transiting between Madagascar and La Réunion. If Madagascar, situated in the safest semi-circle, did not really have to suffer from the meteor, La Réunion was affected by an active peripheral cloud band, which swept across the island during the night. The passage of that squall line brought about, within the space of a few hours, violent thunderstorms and strong gusts of wind. At the same time, an incipient eye replacement cycle had set up within the core of the meteor, with an outer ring of convection having surrounded the inner eye, whose eyewall had started to decay.



Fin du cycle de remplacement de l'œil de GAEL. Sur cette séquence de 24h, l'évolution finale du cycle de l'œil (amorcé 24h plus tôt déjà – voir images précédentes pages 50 et 51) est bien décrite par l'imagerie micro-onde. L'œil interne disparaît pour laisser place à un nouvel œil (beaucoup plus large) issu de l'anneau de convection externe initial. La structure finale s'apparente presque à celle d'un cyclone annulaire (quasi absence de convection en dehors de celle liée au mur de l'œil).

End of GAEL's eye replacement cycle. On this 24 hours' sequence, the final evolution of the eye cycle (which had already started 24h earlier – see previous images pages 50 and 51) was clearly depicted by the microwave imagery. The inner eye disappeared to give way to a much larger new eye which stemmed from the initial outer ring of convection. The final structure looked almost like that of an annular cyclone (hardly any convection except that related to the eyewall).

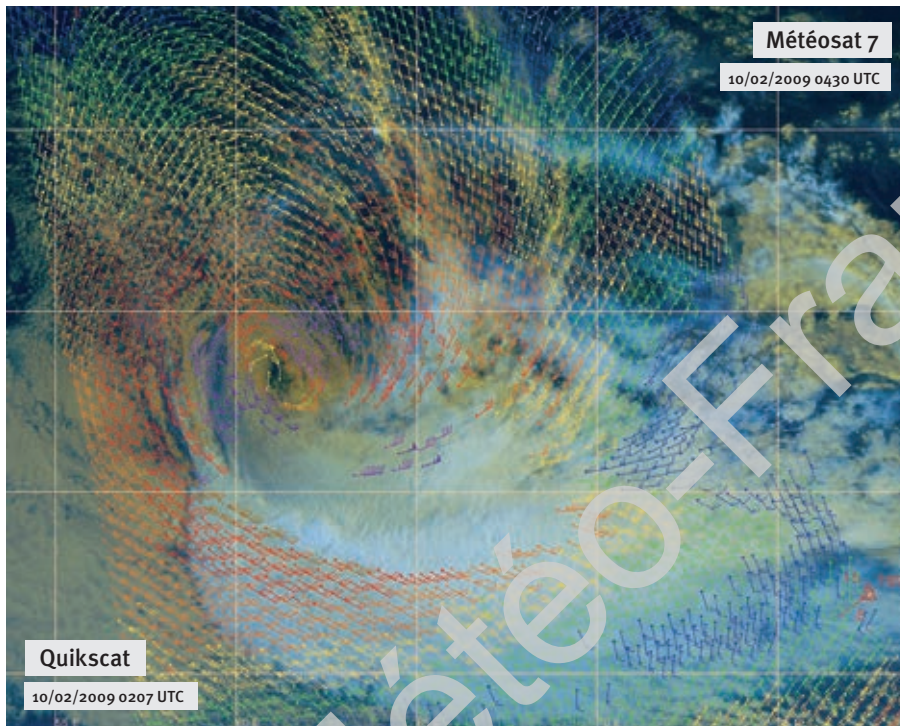
was rather slow, since it took 24h. And another ten hours were necessary for the eye cycle to be completed, as the inner eyewall resisted rather well during the morning of the 8th, before gradually collapsing, while the outer ring slowly shrank, and eventually replaced the primary eye and formed a much wider new eye (110 km in diameter in the end). Therefore, at the beginning of the 9th, it was still a mature tropical cyclone, with an eye perfectly defined on the micro-wave imagery, which was approaching latitude 28°South. In the meantime, GAEL had indeed accelerated, with a cruising speed now exceeding 30 km/h, while heading on a more and more southeastward oriented track. But from that latitude, the environmental situation was to deteriorate very quickly: the meteor entered a zone in which the north-north-westerly vertical windshear was rapidly increasing, while the underlying ocean was also getting cooler rapidly. GAEL met with the usual fate of cyclones ejected toward the subtropical domain and which "collide" with the disturbed westerly flow associated with the subtropical jet stream. The impact of windshear was

fatal to convection, which disappeared altogether before the end of the following night. The extratropical transition was considered as completed on the following morning (10 February). At that stage, the depression was still rather deep and the associated winds still violent, bordering on hurricane force for the strongest – located in the southwestern quadrant of the clockwise circulation according to the morning QuikScat orbit (see image opposite page). But the filling was ineluctable and led to the progressive weakening of ex-GAEL, whose low-pressure minimum was estimated to have risen above the 1000 hPa threshold during the day of 12 February, while it was transiting in the western sector of Amsterdam Island. A classic tropical cyclone typical of the height of the warm season, GAEL was somewhat of an exception during that season when most phenomena had generally failed to develop. Following a pseudo-parabolic track, it was kind enough to travel between the different islands of the western part of the basin, without getting too near, thus limiting its impact on them.

dissipant, pendant que l'anneau externe se contracte doucement, pour finalement se substituer à l'œil primaire et constituer un nouvel œil beaucoup plus large (de 110 km de diamètre en fine).

En début de journée du 9, c'est donc encore un cyclone tropical mature, avec un œil parfaitement défini sur l'imagerie micro-onde, qui se rapproche du 28ème parallèle Sud. Car GAEL a entre-temps accéléré sa course, sa vitesse de déplacement excédant maintenant les 30 km/h, sur une trajectoire de plus en plus orientée sud-est. Mais à partir de cette latitude, la situation environnementale va aller très vite en se dégradant: le météore pénètre dans une zone où le cisaillement vertical de vent (de nord-nord-ouest) s'accroît rapidement, tandis que l'océan sous-jacent va en lui en se rafraîchissant également rapidement.

GAEL connaît là le sort habituel des cyclones expulsés vers le domaine subtropical et qui viennent se heurter au courant perturbé d'ouest associé au jet subtropical. L'impact du cisaillement est fatal à la convection, qui se volatilise



avant la fin de nuit suivante. La transition extratropicale est considérée achevée le lendemain matin (10 février). A ce stade, la dépression est encore assez creuse et les vents associés toujours violents, flirtant encore avec la force ouragan pour ceux les plus forts, situés dans le quadrant sud-ouest de la circulation dépressionnaire d'après l'orbite QuikScat matinale (voir image ci-contre). Mais le comblement est inéluctable et conduit à l'affaiblissement progressif de l'ex-GAEL, dont le minimum dépressionnaire est estimé repasser au-dessus du seuil des 1000 hPa en journée du 12 février, alors qu'il évolue dans le secteur ouest de l'île d'Amsterdam.

Cyclone tropical classique de pleine saison chaude, GAEL fait un peu figure d'exception dans cette saison où les phénomènes ont généralement échoué à pouvoir se développer. Au gré de sa trajectoire pseudo-parabolique, il a eu le bon goût de circuler entre les différentes îles de la partie ouest du bassin, sans trop s'en rapprocher, limitant ainsi l'impact sur celles-ci.

GAEL devient extratropical. La perturbation affiche une configuration nuageuse caractéristique de ce genre de situation, où un ancien système dépressionnaire tropical subit une mutation profonde de sa structure, suite à l'impact radical des conditions hostiles rencontrées (fort cisaillement vertical de vent, arrivée sur des eaux froides). Les vents dérivés de l'orbite QuikScat de 0207 utc qui ont été superposés à l'image satellite colorée, montrent bien que la dépression de surface demeure assez creuse malgré un début de comblement (982 hPa estimés à ce moment-là, grâce aux observations d'une bouée dérivante proche), générant encore des vents de plus de 60 nœuds (forte tempête) dans le secteur sud-ouest du minimum dépressionnaire.

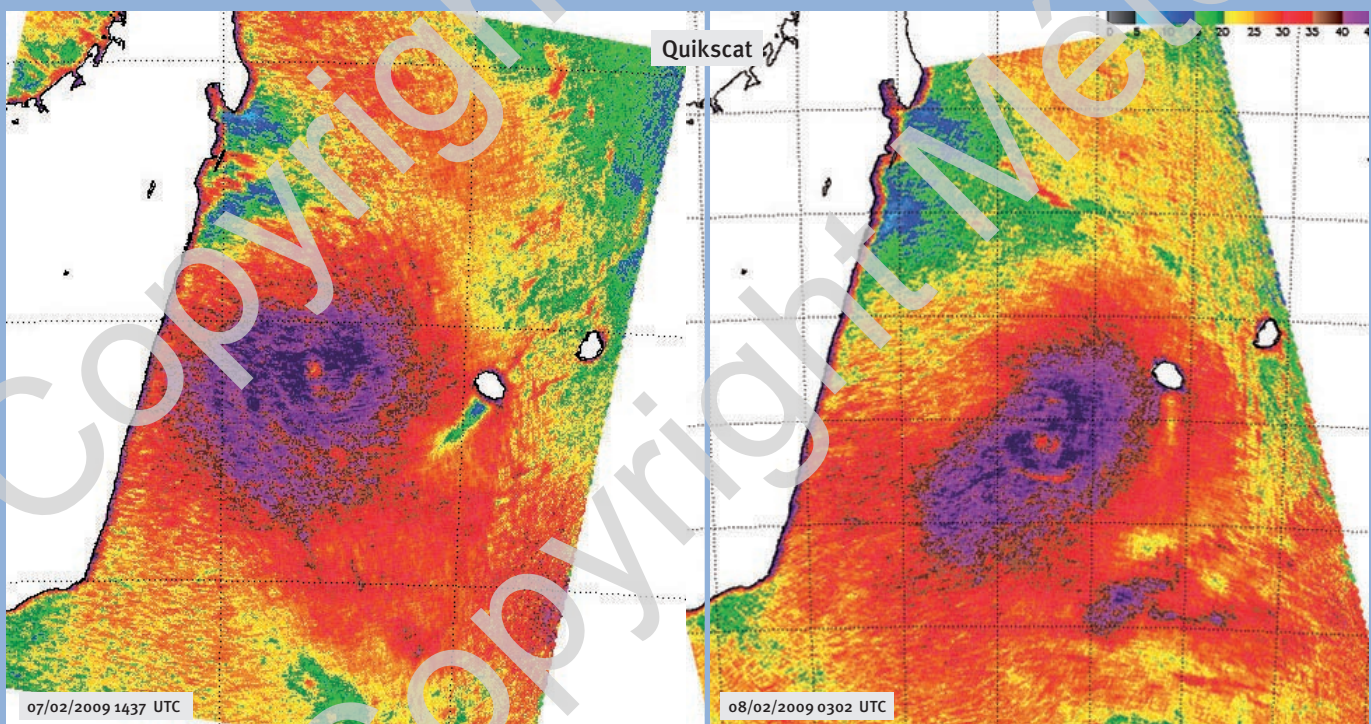
GAEL becomes extratropical. The storm displayed a cloud pattern typical of this kind of situation, in which a former tropical system undergoes a deep mutation of its structure, as a result of the drastic impact of the hostile conditions it has to face (strong vertical windshear, arrival over cold waters). The winds derived from the 0207 utc QuikScat orbit which were superimposed on the coloured composite satellite image, clearly showed that the surface depression remained fairly deep in spite of an incipient filling (982 hPa estimated at that time, thanks to the observations of a nearby drifting buoy), still generating winds of more than 60 knots (strong storm force winds) in the southwestern sector of the low.

Comme on peut le constater sur les données de vents QuikScat en haute résolution ci-dessous, La Réunion est demeurée à distance suffisante du cœur de GAEL pour n'être qu'effleurée par la zone de vents forts associée au cyclone. Il en est résulté des vents tempêteux, mais sans plus. L'extension supérieure à la moyenne du météore, a quand même eu pour effet de lever une houle cyclonique conséquente venue déferler sur les côtes de l'île (voir graphe page suivante).

Après un premier passage à environ 290 km au nord de La Réunion en fin de journée du 5 février (au stade de forte tempête tropicale), sur une trajectoire vers

As shown by the QuikScat high-resolution wind data below, La Réunion remained far enough from the core of GAEL so that the area of strong winds related to the cyclone only brushed past the island. As a result, stormy winds were felt, but no more than that. Nevertheless, due to its above average size, the meteor raised quite a significant cyclone swell which triggered high surf and breaking waves on the island's seaboard (see diagram on next page).

After a first passage at about 290 km to the north of La Réunion at the end of the day of 5 February (at the stage of severe tropical storm) on a westerly track, GAEL



l'ouest, GAEL a incurvé vers le sud-ouest 24h plus tard, à environ 400 km au nord-ouest de La Réunion, puis vers le sud-sud-est. Le météore, entre-temps transformé en cyclone tropical intense, a ainsi contourné La Réunion par l'ouest cette fois, transitant à un peu moins de 300 km au sud-ouest de l'île à l'aube du dimanche 8 février, avant de commencer de s'éloigner vers le grand sud.

La Réunion est donc restée plus de 4 jours dans la sphère d'influence du météore (et 5 jours en pré-alerte cyclonique), mais sans avoir jamais été approchée par le cœur du cyclone. Cette influence périphérique a eu pour conséquence un épisode perturbé d'ampleur modérée sur La Réunion, avec des conditions météorologiques dégradées, mais ne pouvant être qualifiées de cycloniques (qui se caractérisent par des rafales maximales de vent supérieures à 150 km/h). Les vents ont été forts, mais sont restés bien en deçà de ce seuil, approchant les 100 km/h en pointe sur le littoral (94 km/h au Port et à Gillot, 97 km/h à Pierrefonds pour les rafales maximales mesurées sur le réseau de stations automatiques de Météo-France) et atteignant 120 à 130 km/h dans les Hauts (115 km/h à La Plaine des Cafres, 119 km/h à La Petite France et 130 km/h à Cilaos), dépassant très ponctuellement ces valeurs dans des sites très exposés (bord de falaise) ou en haute altitude (144 km/h relevé au gîte du volcan).

Les masses nuageuses les plus actives liées à GAEL sont demeurées l'essentiel du temps à bonne distance au large, de sorte que si GAEL a généré un épisode pluvieux conséquent, c'est dans les Hauts de l'intérieur de l'île uniquement et pour des quantités de précipitations ne rivalisant pas avec les derniers épisodes pluvieux d'importance (cyclone DINA en 2002, tempête tropicale DIWA en 2006, ou cyclone GAMEDE en 2007). Les pluies ont, en effet, été relativement limitées sur le littoral, tandis que l'intérieur de l'île a été bien arrosé, plus particulièrement du côté sud : le cirque de Cilaos a totalisé plus de 900 mm sur l'épisode (901 mm).

On a relevé, pour les valeurs les plus remarquables : 734 mm à Aurère (cirque de Mafate) et à l'Ilet à Vidot (cirque de Salazie), 619 mm à la Plaine des Chicots (Hauts du Nord), 561 mm au gîte du volcan. A noter, toutefois, que sur le même massif du volcan, le pluviomètre du cratère Commerson a recueilli 1196 mm de précipitations en 5 jours. On reste, toutefois, très loin des 4979 mm enregistrés en 5 jours sur le même site de Commerson, lors de l'épisode GAMEDE (idem à Cilaos, où GAMEDE avait laissé 2586 mm en 4 jours).

GAEL n'était définitivement pas GAMEDE, malgré des similarités entre les deux phénomènes (en terme de trajectoires et de durée des épisodes, notamment). Mais l'extension moindre de GAEL a fait toute la différence, que ce soit en terme de pluies ou de vents (on rappelle que pour GAMEDE, qui n'avait généré que des vents cycloniques "minimaux", on avait mesuré 140 km/h à Gillot et 162 km/h à La Petite France, à titre de comparaison).

C'est finalement pour la houle, que GAEL peut le plus rivaliser avec GAMEDE. Les vagues ont atteint les 6 m en hauteur significative lors de cet épisode GAEL (6,2 m de valeur maximale mesurée), tandis que les vagues les plus hautes ont approché les 10 m (9,7 m de valeur maximale mesurée). Pour mémoire, GAMEDE avait lui produit une houle plus magistrale encore (7 m de hauteur significative maximale, pour une hauteur de vague maximale mesurée de 11,7 m).



bent towards the southwest 24h later, at about 400 km to the northwest of La Réunion, veering thereafter towards the south-southeast. The meteor, which became an intense tropical cyclone in the meantime, thus skirted round La Réunion, via the west this time, transiting at a little less than 300 km to the southwest of the island at the dawn of Sunday 8 February, before beginning to edge away towards the far south.

Therefore La Réunion remained more than 4 days in the sphere of influence of the meteor (and 5 days in cyclone watch) but without the core of the cyclone ever approaching it. The peripheral influence resulted in a disturbed episode of moderate magnitude on La Réunion, with deteriorated weather conditions, but which could not be qualified as cyclonic conditions (which are characterized by maximum gusts of wind exceeding 150 km/h).

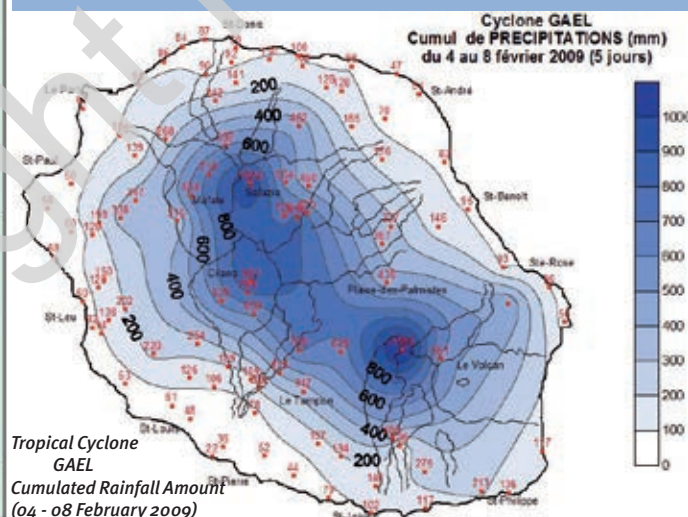
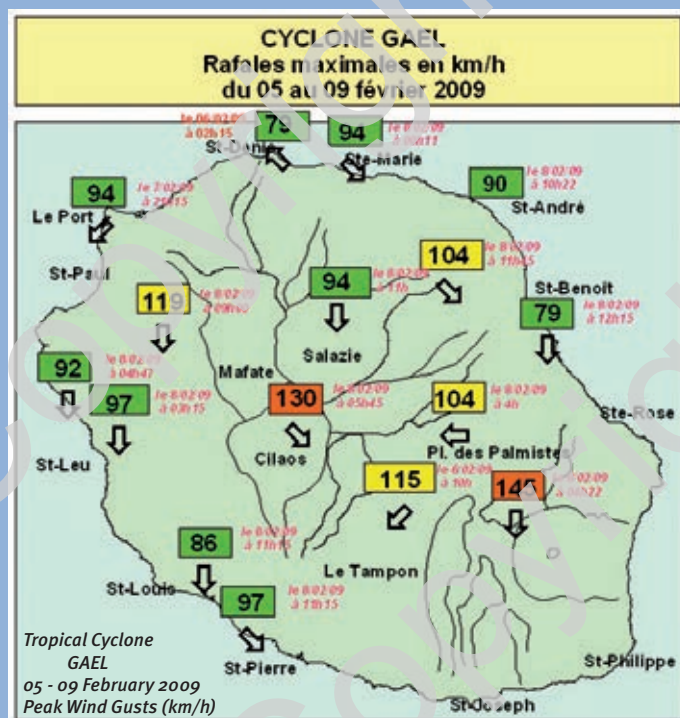
The winds were strong, but remained well below that threshold, merely approaching the 100 km/h mark in peak gusts on the coast (94 km/h in Le Port and at Gillot Airport, 97 km/h at Pierrefonds for the highest gusts measured on the network of Météo France automatic stations) and reaching 120 to 130 km/h in the heights (115 km/h in La Plaine des Cafres, 119 km/h in La Petite France and 130 km/h in Cilaos) and exceeding these values on very localized exposed sites (cliff edges) or in high altitude (144 km/h measured at the volcano shelter).

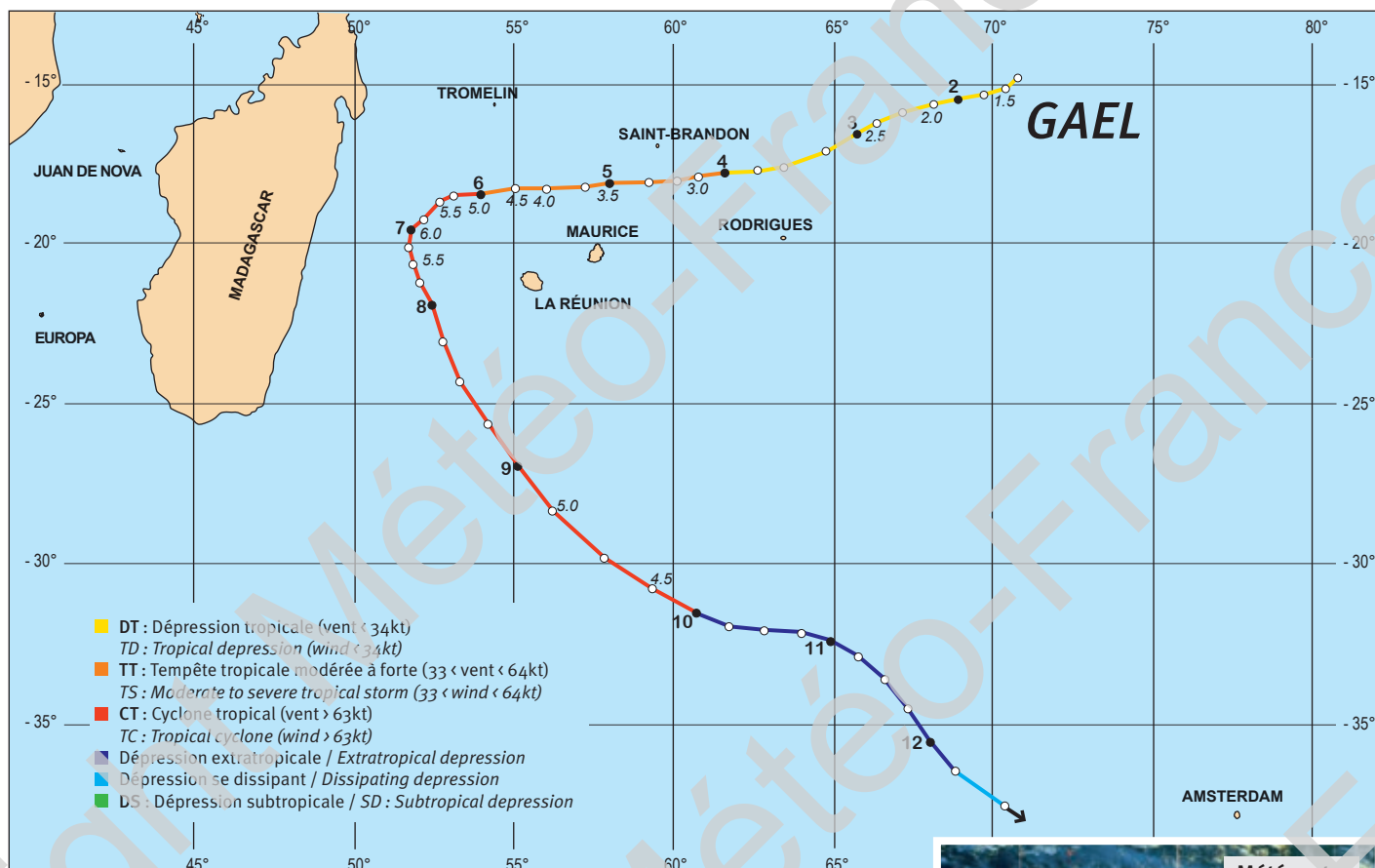
The most active cloud masses related to GAEL remained most of the time rather far offshore, so that if GAEL generated a significant rainy episode, it was in the mountains and inland heights only and for rainfall amounts that could not compare with the previous important rainy events (those generated by cyclone DINA in 2002, tropical Storm DIWA in 2006 or cyclone GAMEDE in 2007). Actually the rains were relatively limited on the coast, whereas the interior of the island underwent rather heavy rainfall, more particularly on the southern side : the Cilaos cirque received a cumulated amount of more than 900 mm during the episode (901 mm).

The most remarkable values were recorded at Aurère (Mafate cirque) and at l'Ilet à Vidot (Salazie cirque) both with 734 mm, at Plaine des Chicots (Heights in the North) with 619 mm, at the volcano shelter with 561 mm. However it should be noted that on the same volcano area, the rain gauge at the Commerson's Crater recorded 1196 mm of rain in 5 days. Yet this value remained far behind the 4979 mm recorded in 5 days on the same Commerson site during the GAMEDE episode (same thing in Cilaos where GAMEDE had poured 2586 mm in 4 days).

For sure GAEL was not GAMEDE, in spite of similarities between the two phenomena (especially in terms of tracks and lengths of the episodes). But GAEL's smaller size made all the difference, whether in terms of rain or wind (one must recall that for GAMEDE, which had generated only "minimal" cyclonic winds, 140 km/h had been recorded at Gillot and 162 km/h at La Petite France, by comparison).

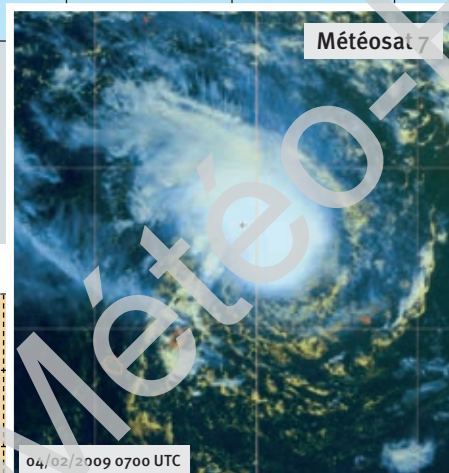
Eventually it was for the swell that GAEL could best compete with GAMEDE. The waves reached 6 m of significant height during the GAEL episode (6.2 m for the maximum recorded value), whereas the highest waves were nearing 10 m (9.7 m for the highest measured wave). As a reminder, GAMEDE had produced an even more mighty swell (7 m of maximal significant wave height, for the highest wave measured at 11.7 m).



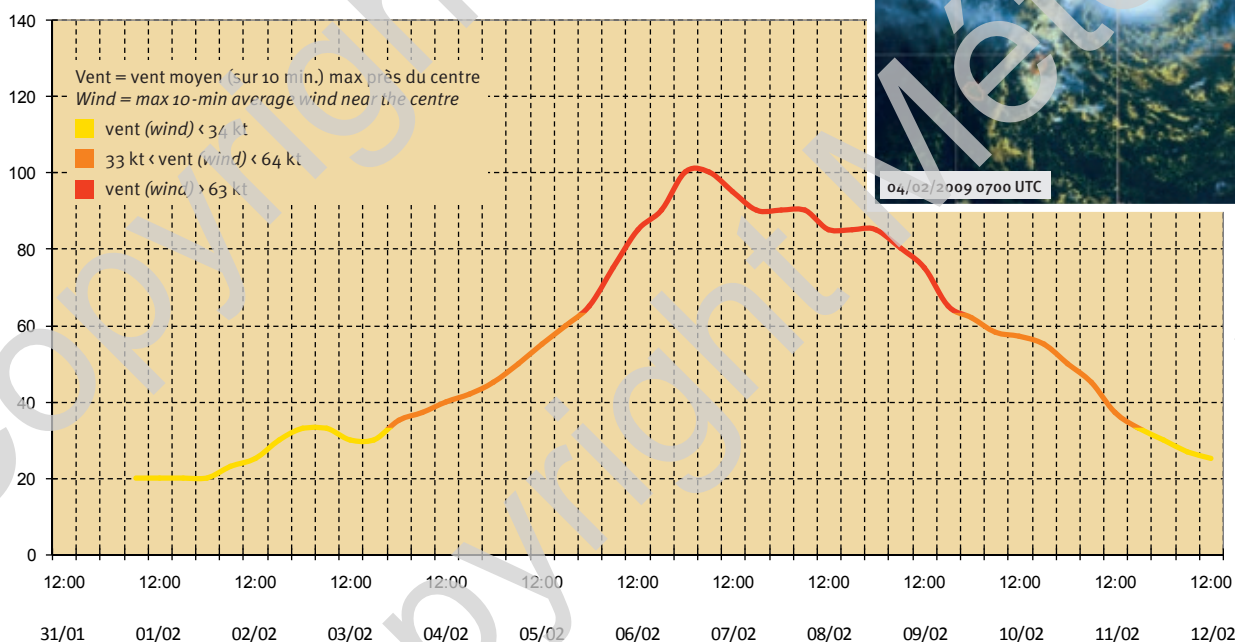


La tempête tropicale modérée GAËL entre l'île Rodrigues et l'archipel de St-Brandon. Un puissant amas de convection s'est développé jusqu'au-dessus du centre dépressionnaire, donnant une deuxième impulsion décisive au processus d'intensification du météore et a abordé l'archipel de St-Brandon, qui va connaître de très fortes pluies au cours des heures suivantes (129 mm de précipitations s'abattant en l'espace de 12h).

Moderate tropical storm GAËL between Rodrigues Island and the St Brandon Archipelago. A powerful convective cloud cluster had developed, including above the low centre, giving a second decisive impulse to the intensification process of the meteor. The cluster had accosted the St Brandon Archipelago which was to undergo very heavy rains during the following hours (129 mm falling in 12h).



GAËL DU 01/02 AU 12/02/2009



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)

Forte Tempête Tropicale

du 20 février au 2 mars 2009

Severe Tropical Storm "Hina" (20 February – 2 March 2009)



FORMATION

A

près l'évacuation de GAEL dans le domaine subtropical, moins de dix jours vont s'écouler avant de voir le système dépressionnaire suivant se former (cyclogenèse bien prévue par les modèles numériques). Mais à l'instar de la majorité des systèmes de cette saison, la fenêtre favorable de développement se refermera assez rapidement, faisant tourner court un début d'évolution prometteur.

A la fin de la deuxième décade de février, le talweg de mousson est bien établi sur l'ensemble du bassin, comme il est naturel à ce moment de la saison. Mais c'est sur la partie est de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion qu'il apparaît le plus actif et le mieux matérialisé sur l'imagerie satellitaire, avec une activité convective assez marquée et persistante, qui s'étire du 70^{ème} méridien Est jusqu'au voisinage de 90°E, de part et d'autre du 10^{ème} parallèle Sud. Présente pour l'essentiel du côté équatorial du talweg de mousson (axé pour sa part au niveau du 12^{ème} parallèle Sud), cette activité convective demeure élongée et inorganisée jusqu'au 20 février. Mais la nuit suivante, la convection se regroupe prestement autour d'un minimum dépressionnaire déjà esquissé en journée sur les données de vents dérivées des données diffusiométriques QuikScat et Ascat, et désormais bien défini.

Au matin du 21, le changement est flagrant par rapport à la veille et la configuration nuageuse affichée laisse peu de doute sur l'évolution à venir : la cyclogenèse est sur les rails. Le gain d'organisation justifie aisément un classement en perturbation tropicale. L'analyse satellitaire est qui plus est corroborée par les observations disponibles, à la fois celles

issues de l'orbite QuikScat du début de journée, qui indiquait un renforcement de la circulation dépressionnaire, avec un flux entrant de basses couches particulièrement affirmé du côté mousson, puis par les données de pression d'une bouée dérivante située non loin au sud-ouest du centre dépressionnaire en début d'après-midi.

ÉVOLUTION

L'évolution rapide amorcée va se prolonger à ce même rythme, nettement supérieur à la norme climatologique, au cours des 24h suivantes, avec un gain supplémentaire de deux points sur l'échelle d'intensité de Dvorak.

En toute logique serait-on tenté de dire, au vu des conditions environnementales extrêmement favorables dont bénéficie pour l'heure le météore. Car si l'on ajoute à la bonne convergence de basses couches, que le système se trouve positionné sous l'axe de la dorsale d'altitude, avec un cisaillement vertical de vent réduit et une configuration à deux canaux pour l'évacuation du flux sortant d'altitude, celui situé du côté polaire étant de loin le plus puissant (voir l'épanchement dissymétrique des cirrus de part et d'autre du système sur l'image du 21 – page 59), du fait de la présence adjacente d'un courant-jet de nord-ouest circulant à l'avant d'un profond talweg situé à une quinzaine de degrés au sud-ouest du météore, tous les éléments sont réunis pour impulser une intensification rapide de la perturbation.

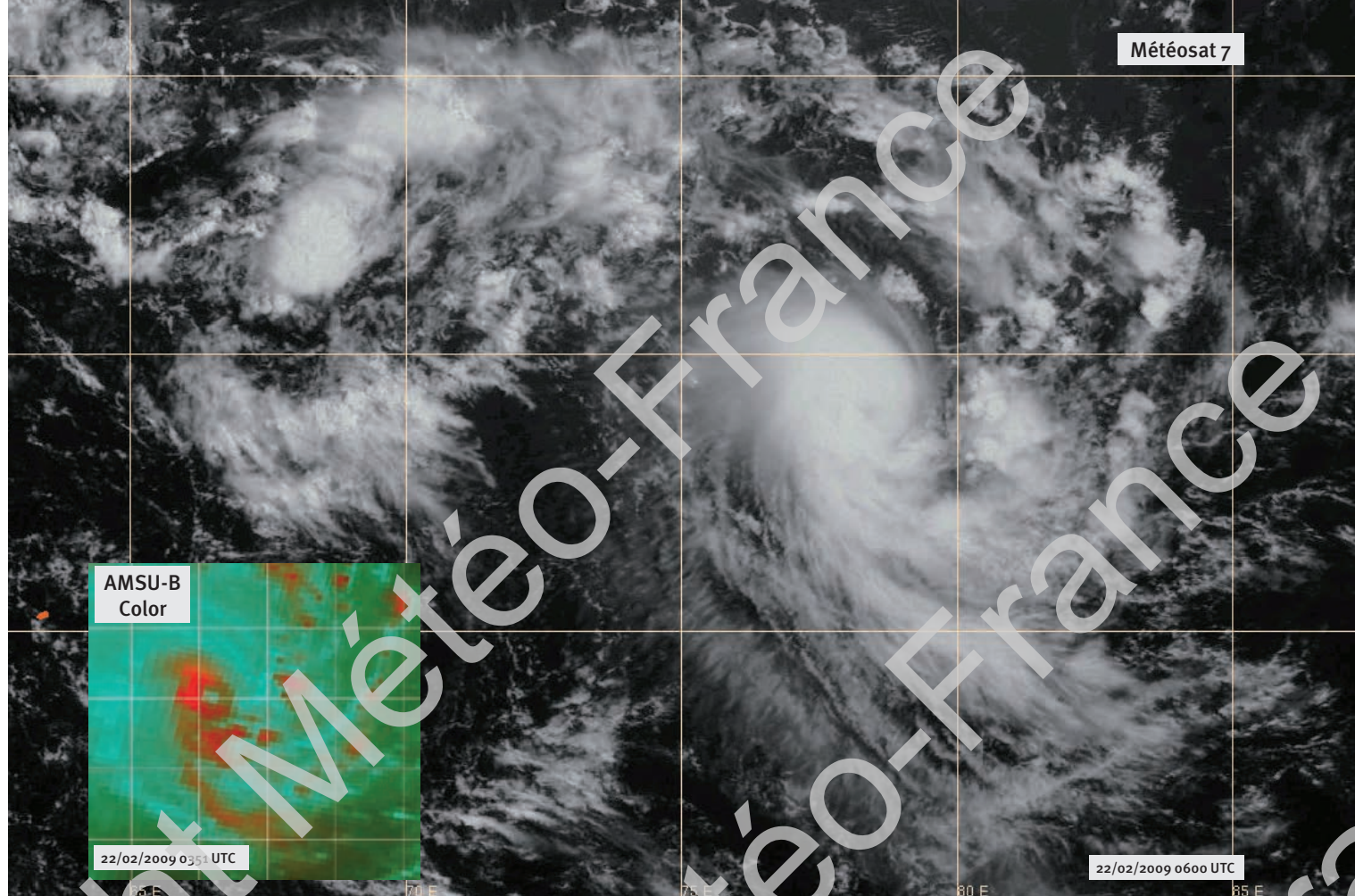
Et de fait, jusqu'au matin du 22, le système se développe allègrement. Cette évolution apparaît peut-être d'ailleurs plus spectaculaire sur l'imagerie micro-onde que sur l'imagerie classique (voir images page 59). A son apogée, le système nuageux

présente une ébauche d'œil. Furtivement esquissé en fin de matinée sur l'imagerie visible au sein du CDO (amas nuageux central dense de convection), cet œil s'est révélé depuis plusieurs heures déjà sur l'imagerie micro-onde, avec une bien meilleure définition. HINA, baptisé tardivement à l'aube de ce 22 février (alors que le stade de tempête tropicale modérée a selon toute vraisemblance été atteint dès le début de nuit précédente), est alors classé en forte tempête tropicale. Cela va s'avérer constituer son maximum d'intensité.

Car le processus d'intensification s'interrompt à ce moment-là, coupé brutalement dans son élan. Une phase de plateau s'ensuit, durant laquelle l'intensité du météore plafonne, avec une organisation du système nuageux qui stagne, puis commence à montrer de légers signes de régression.

Ce changement de tendance n'est pas une surprise. Il n'est que la conséquence logique d'une situation désormais beaucoup moins favorable pour HINA, pour l'essentiel liée à son nouveau positionnement. Attiré depuis ses origines par une faiblesse dans le champ de pression liée à la présence au sud d'un col barométrique en moyenne troposphère localisé au voisinage du 20^{ème} parallèle Sud, le météore s'est décalé continûment en direction du sud-sud-est. Avec un déplacement qui s'est légèrement accéléré ce 22 février, tout en prenant une orientation de plus en plus méridienne, le cœur de la tempête a ainsi franchi le 16^{ème} parallèle Sud. S'enfonçant, comme dans un entonnoir, entre le jet de nord-ouest à l'ouest et la dorsale d'altitude présente à l'est (voir image page 58), HINA subit un renforcement progressif du cisaillement vertical de vent, avec une ventilation de nord accrue qui commence à impacter le système nuageux à partir de la fin de journée.

Son action va s'opérer de manière très graduelle, avec une inclinaison croissante de la colonne verticale associée au cœur du météore, résultant en un déphasage progressif entre le centre de la circulation de basses couches et le centre d'altitude, tels que bien identifiables encore sur l'imagerie micro-onde jusqu'au petit matin du 23. Auparavant, le centre de la tempête est passé à proximité est d'une bouée dérivante. Celle-ci s'est retrouvée



La forte tempête tropicale HINA atteint son maximum d'intensité. Alors qu'un œil s'est constitué depuis plusieurs heures sur l'imagerie micro-onde, il ne va être que furtivement esquissé sur l'imagerie visible, au sein de l'amas nuageux central dense de convection.

Severe tropical storm HINA when reaching its intensity peak. Whereas an eye feature has started forming since a few hours on the microwave imagery, it will only furtively appear on the visible imagery, within the central dense overcast of convection.

peu ou prou au niveau du rayon des vents maximaux, soit à une vingtaine de km au plus près du centre d'HINA. Le minimum de pression horaire transmis de 980.7 hPa, a permis de valider un minimum de pression centrale de l'ordre de 976 hPa, valeur conforme à l'intensité Dvorak analysée de 4.0 et à la correspondance pression utilisée.

A la mi-journée du 23, le découplage entre la circulation de basses couches et l'altitude est effectif ; le vortex de nuages bas commence à se dévoiler, partiellement exposé en bordure nord de la convection. Outre l'affaiblissement induit de la perturbation, rapidement déclassée en tempête tropicale modérée (puis en dépression tropicale en fin de nuit suivante), il en résulte une deuxième conséquence, à savoir un changement de trajectoire d'HINA. Suite au découplage opéré par le cisaillement, le contrôle du flux directeur de la perturbation est transféré vers les couches inférieures de l'atmosphère, où une puissante cellule anticyclonique subtropicale est présente au sud de 20°Sud. Venant buter sur celle-ci, HINA se voit contraint d'obliquer abruptement en direction de l'ouest-sud-ouest à son contact, qui intervient en fin de journée du 23, un peu au nord du 20^{ème} parallèle Sud. Portée par cette solide dorsale

FORMATION

After GAEL had withdrawn to the subtropical domain, less than ten days elapsed before the springing up of the next storm, a cyclogenesis that had been well anticipated by the numerical models. But as was the case for most systems of that season, the favourable time window for development would thereafter close up rather quickly, putting an end prematurely to a promising incipient evolution.

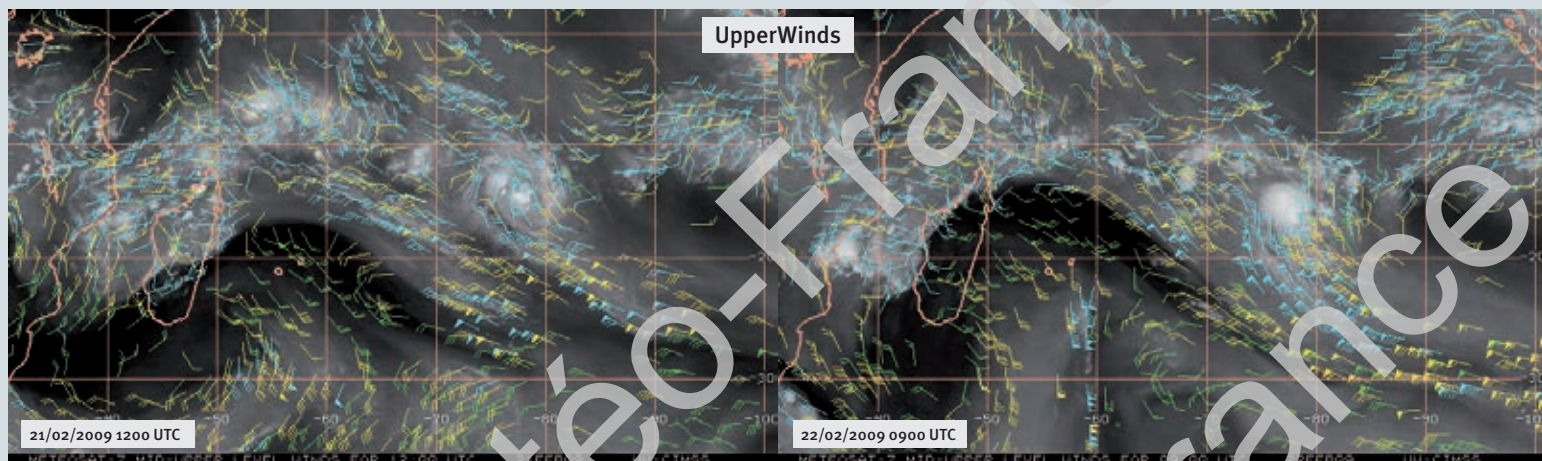
At the end of the second decade of February, the monsoon trough was well established across the whole basin, as it is natural at that time of the year. But it was on the eastern part of RSMC La Réunion's area of responsibility that it appeared to be the most active and the best materialized on the satellite imagery, with a rather well marked and persistent convective activity, which spread from longitude 70°East to the vicinity of longitude 90°East, on either side of latitude 10°South. Mainly present equatorward of the monsoon trough (whose axis stretched for its part along latitude 12°South), that convective activity remained elongated and unorganized until 20 February. But during the following night, convection gathered promptly around a low that the wind data derived

from the QuikScat and Ascet scatterometer data had already unveiled during the day, and which was henceforth well defined.

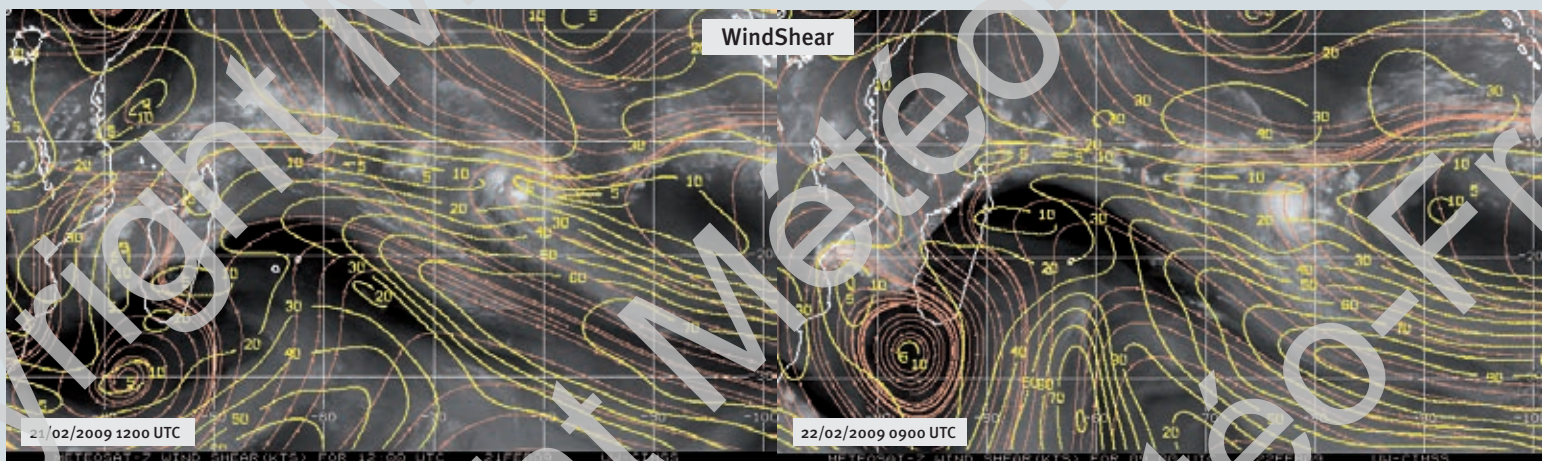
In the morning of 21 February, there was a striking change compared to the day before and the displayed cloud pattern left no room for doubt about the evolution to come : cyclogenesis was on its way and the increasing organisation easily justified the ranking of the system as a tropical disturbance. Moreover the satellite analysis was corroborated by the available observations, both from the early morning QuikScat swath, which indicated a strengthening of the low level circulation, with a low level inflow which had particularly asserted itself on the monsoon side, and then by the pressure data from a drifting buoy situated close by to the southwest of the low centre at the beginning of the afternoon.

EVOLUTION

The quick evolution that had started kept going at the same pace during the next 24h, being much faster than the climatological norm, with an additional gain of two points on the Dvorak intensity scale. And one could go as far as to state : "anything but logical", given the extremely



Extremely classic pattern of rapid intensification until HINA's intensity peak was reached. On those charts of satellite driftwinds in altitude from the CIMSS, the evolution of HINA's intensity can be explained very clearly. On 21st February, the meteor benefited from a synoptic context propitious to a rapid intensification, as it was positioned under the axis of the upper ridge, with a weak vertical windshear and an excellent upper divergence. A dual upper outflow channel pattern was set with a secondary equatorward channel and a main poleward channel, keeping in mind that the efficiency of the latter was called to strengthen further as the northwesterly jet stream which flowed ahead of a powerful upper trough situated to the southwest, was approaching. Initially dissociated, they merged on the following day, as the water vapour imagery clearly showed. That signed the end of the favourable conditions and therefore the maximum intensity of the storm : the jet stream, up to then profitable, began henceforth to encroach upon the system, generating an increase in the vertical windshear.



Configuration extrêmement classique d'intensification rapide jusqu'au maximum d'intensité pour HINA. Sur ces champs de vents satellite en altitude du CIMSS, l'évolution de l'intensité d'HINA s'explique de manière limpide. Le 21 février, le météore bénéficie d'un contexte synoptique propice à une intensification rapide, car positionné sous l'axe de la dorsale d'altitude, avec un cisaillement vertical de vent faible et une excellente divergence d'altitude. L'évacuation du flux sortant d'altitude est organisée en deux canaux : un canal secondaire du côté équatorial et un canal principal du côté polaire, sachant que l'efficacité de ce dernier est appelée à se renforcer encore à l'approche du courant-jet de nord-ouest qui circule à l'avant d'un puissant talweg d'altitude situé au sud-ouest. Initialement dissociés, ils fusionnent le lendemain, comme l'imagerie vapeur d'eau l'indique clairement. Cela marque la fin des conditions favorables et donc le maximum d'intensité de la perturbation : le courant-jet, jusque là avantageux, commence désormais à empiéter sur le système, générant un accroissement du cisaillement vertical de vent.

favourable environmental conditions from which the meteor benefited for the moment. Because in addition to the good low level convergence, the system was positioned under the axis of the upper ridge, with a much reduced vertical windshear and a dual channel pattern for the upper outflow. The poleward channel being the more powerful (see the asymmetrical fanning of the cirrus around the system portrayed on the image of 21 February – opposite page), due to the adjacent presence of a northwesterly jet stream flowing ahead of a deep trough situated about 15 degrees to the southwest of the meteor. All those factors contributed to foster a rapid intensification of the disturbance. And indeed, until the morning of 22 February, the system developed briskly.

That evolution appeared maybe more spectacular on the microwave imagery than on the classic imagery (see images opposite page). At the climax of its depiction, the cloud system displayed a formative eye. Featuring furtively towards the end of the morning on the visible imagery within the CDO (central dense overcast of convection) this embryonic eye had already been revealed by the microwave imagery a few hours ago, with a much better definition. HINA, named rather late at the dawn of 22 February (whereas the stage of moderate tropical storm had very likely been reached from the very beginning of the night before), was then ranked as a severe tropical storm. Which happened to be its intensity peak. In fact the intensification process was stopped at that very moment, brutally

anticyclonique, la dépression résiduelle accélère ensuite, progressivement mais sûrement, au point que la vitesse de déplacement approche tout de même temporairement les 40 km/h en journée du 25. Depuis la veille, l'ex-HINA ne perdure plus que sous la forme d'un vortex de nuages bas sur lequel viennent se greffer des bouffées plus ou moins sporadiques de convection sans conséquence. Mais ce 25 février, alors que le système continue de contourner la dorsale subtropicale, avec une trajectoire qui s'oriente franchement au sud-ouest, il vient fusionner avec une zone pluvio-orageuse de quelques centaines de km de large présente dans le secteur au sud de l'île Rodrigues (liée à l'existence et à la persistance d'une goutte froide en moyenne et haute troposphère dans ce secteur).

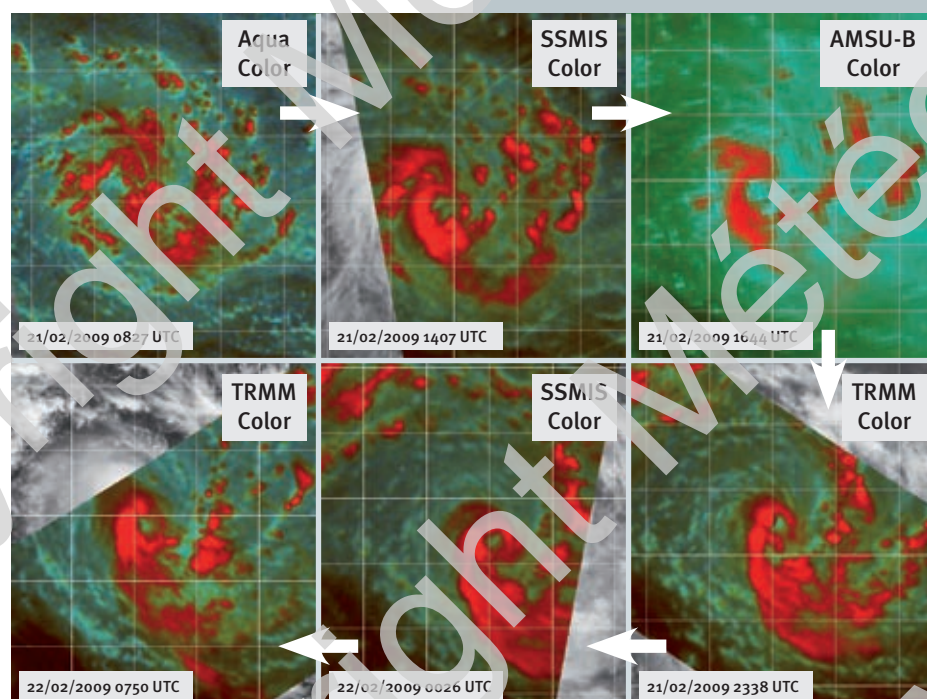
De la convection reprend alors au-dessus du centre de basses couches de façon plus persistante (se maintenant quasiment toute la nuit du 25 au 26). Plusieurs survols consécutifs des radars diffusiomètres, tant QuikScat que Ascat, indiquent la présence établie de vents de la force du coup de vent dans le demi-cercle sud de la circulation dépressionnaire. Le fort gradient de pression entre le minimum dépressionnaire et les hautes pressions subtropicales ne peut justifier à lui seul une telle force de vent s'il n'a pas été associé à un re-croisement concomitant du minimum de l'ex-HINA. Les observations de pression d'une bouée dérivante, non loin au nord de laquelle le minimum transite dans la nuit du 25 au 26, confirment ce sentiment.

cut off. A plateau phase ensued, during which the intensity of the meteor ceiled, with a cloud system whose organization stagnated first, before beginning to show slight signs of decline.

There was nothing surprising about that change in tendency. It was only the logical consequence of a situation henceforth much less favourable to HINA and mainly related to its new positioning. Attracted from the very beginning by a weakness in the pressure field linked to the presence, to the south, of a barometric col in mid troposphere situated in the vicinity of latitude 20°South, the meteor had steadily kept tracking southeastward. With a motion which had slightly accelerated on 22 February, while assuming a more and more meridian-like trajectory, the core

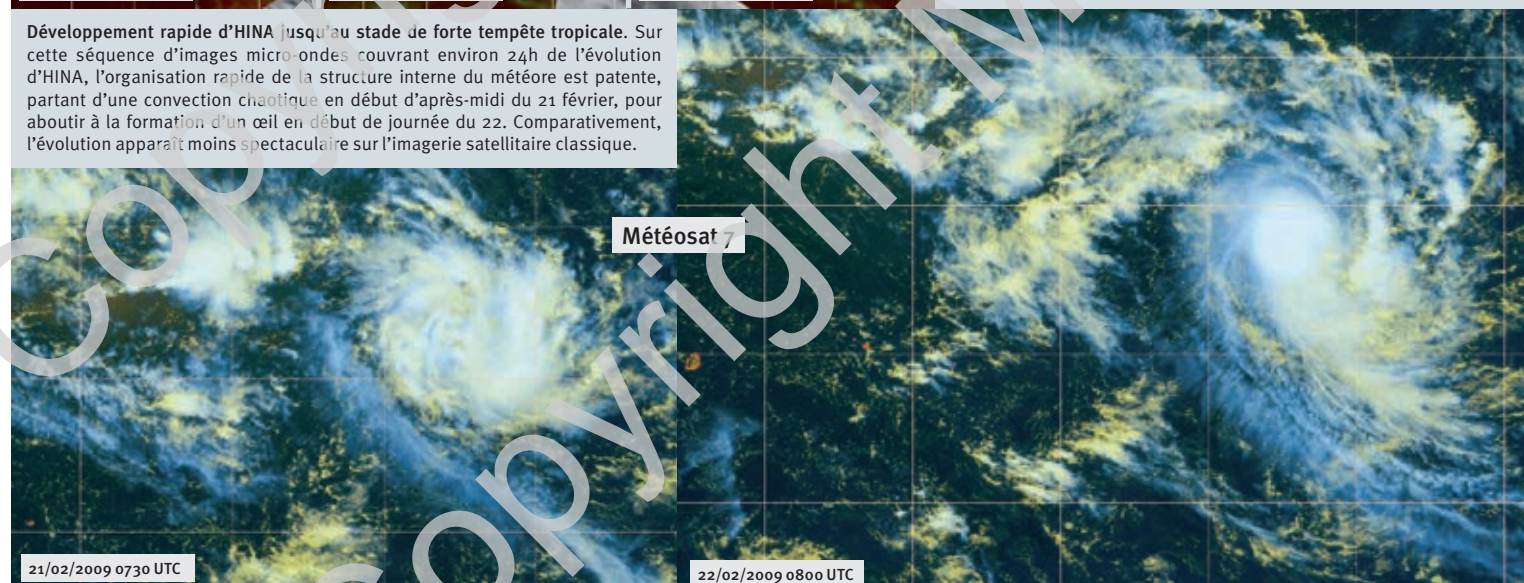
of the storm had thus crossed latitude 16°South. Plunging as into a funnel, between the northwesterly jet stream to the west and the upper ridge to the east (see image opposite page), HINA was now undergoing a gradual increase of the vertical windshear, with an enhanced northerly ventilation starting to negatively impact the cloud system from the end of the afternoon.

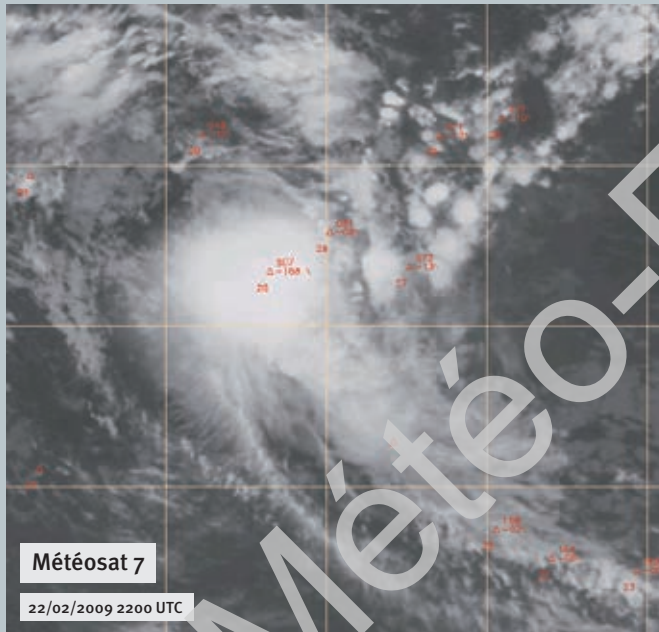
Its detrimental action was to take place very progressively, with an increasing tilt of the vertical column associated with the core of the meteor, leading to a gradual decoupling between the low-level and the upper-level circulation centres which could still be clearly identified on the microwave imagery until early in the morning of 23 February. Previously, the storm's centre had transited nearby to the east of a drifting buoy. The latter found itself more or less at the radius of the maximum winds, a little bit more than 20 km at its closest to HINA's centre. The hourly minimum of pressure transmitted (980.7 hPa), made it possible to validate a minimum central pressure of about 976 hPa, a value which matched both the 4.0 Dvorak intensity analysed and the corresponding pressure relationship in use. At midday on 23 January, the decoupling between the low and upper circulations was effective ; the vortex of low clouds began to unveil, partially exposed on the northern boundary of the convection.



Rapid development of HINA until it heaved itself up to the stage of severe tropical storm. On this sequence of microwave images covering about 24h of HINA's evolution, the rapid organization of the inner structure of the meteor was obvious, from a chaotic convection at the beginning of the afternoon of 21 February, to the formation of an eye feature at the beginning of the day of 22 February. By comparison, the evolution looked less spectacular on the classic satellite imagery.

Développement rapide d'HINA jusqu'au stade de forte tempête tropicale. Sur cette séquence d'images micro-ondes couvrant environ 24h de l'évolution d'HINA, l'organisation rapide de la structure interne du météore est patente, partant d'une convection chaotique en début d'après-midi du 21 février, pour aboutir à la formation d'un œil en début de journée du 22. Comparativement, l'évolution apparaît moins spectaculaire sur l'imagerie satellitaire classique.

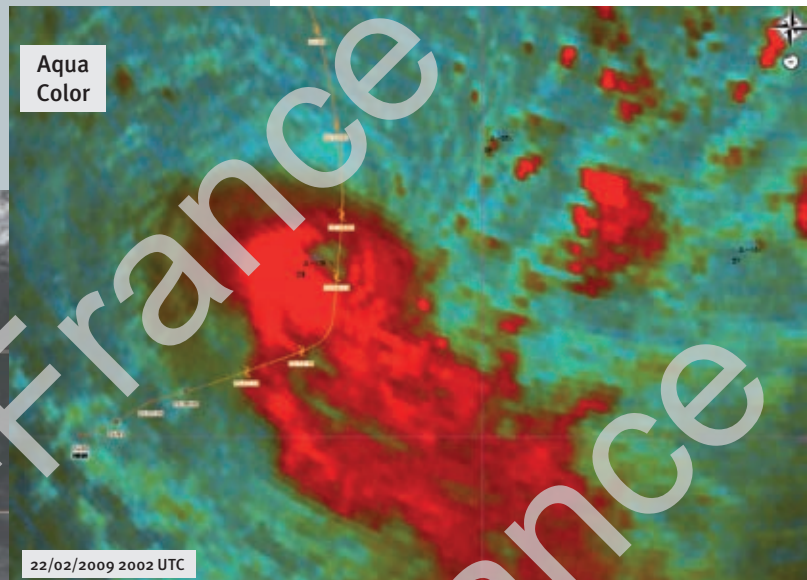




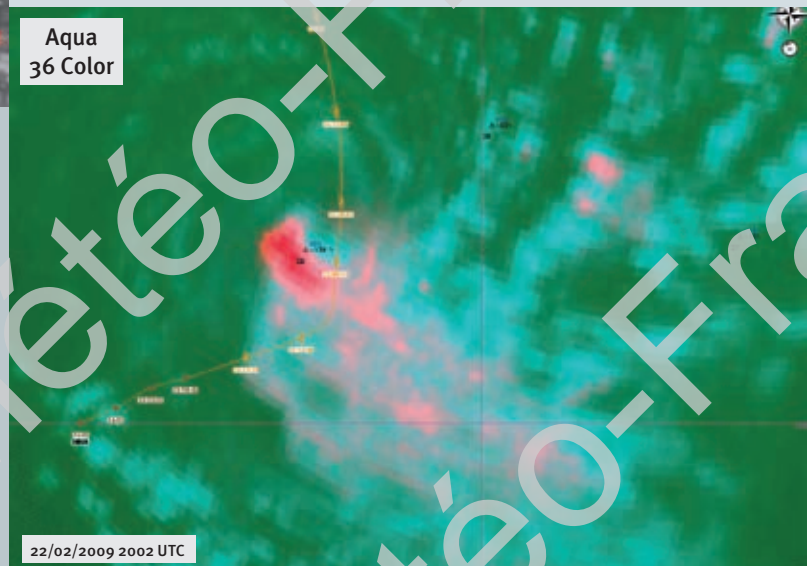
In addition to the induced weakening of the disturbance, soon downgraded to the moderate tropical storm stage (then into a mere tropical depression by the end of the following night), there resulted a second consequence, namely a change of track of HINA. Following the decoupling due to the shearing, the control of the steering flux of the disturbance was transferred to the lower levels of the atmosphere, where a powerful subtropical high was present to the south of latitude 20°South. HINA bumped against it and was compelled to swerve abruptly towards the west-southwest when impinging on it, which took place at the end of the day of 23 February, a little to the north of latitude 20°South. Carried away along the edge of that strong high-pressure ridge, the remnant depression then accelerated, progressively but surely, so much so that the speed of movement temporarily neared 40 km/h during 25 February.

Since the day before ex-HINA had been surviving as a mere vortex of low clouds on which more or less sporadic outbursts of convection grafted themselves with no repercussions. But on that 25 February, while the system continued to move round the subtropical ridge, with a track that clearly turned to the southwest, it merged with a rain storm area several hundred km wide that was present in the sector located to the south of Rodrigues Island (and which was linked to the persistent existence of a cold-air drop in mid and upper troposphere in that region). Some convection resumed more persistently above the low level centre (it lasted

almost all night from the 25th to the 26th). Several successive swaths of both QuikScat and Ascat scatterometer radars, indicated the well-established presence of gale force winds in the southern semi-circle of the clockwise circulation. The sustained strong pressure gradient which was maintained between the remnant depression and the subtropical high could not, by itself alone, justify so strong winds had it not been associated with a concomitant re-deepening of ex-HINA's low. The pressure observations from a drifting buoy, near which the low transited to the north during the night of February 25 to 26, confirmed that impression. During February 26, the cloud structure appeared to be strongly sheared once again, with a completely exposed vortex and the global pattern was that of a system about to transition to extratropical. Recurring southwards, the meteor was about to describe a classical pseudo-parabolic trajectory. The recurring point took place as the meteor crossed latitude 30°South, during the morning of February 27. The remnant depression slowly filled up during the following days. Carried away towards the east-southeast, it transited to the south of Amsterdam Island at the dawn of 2 March.

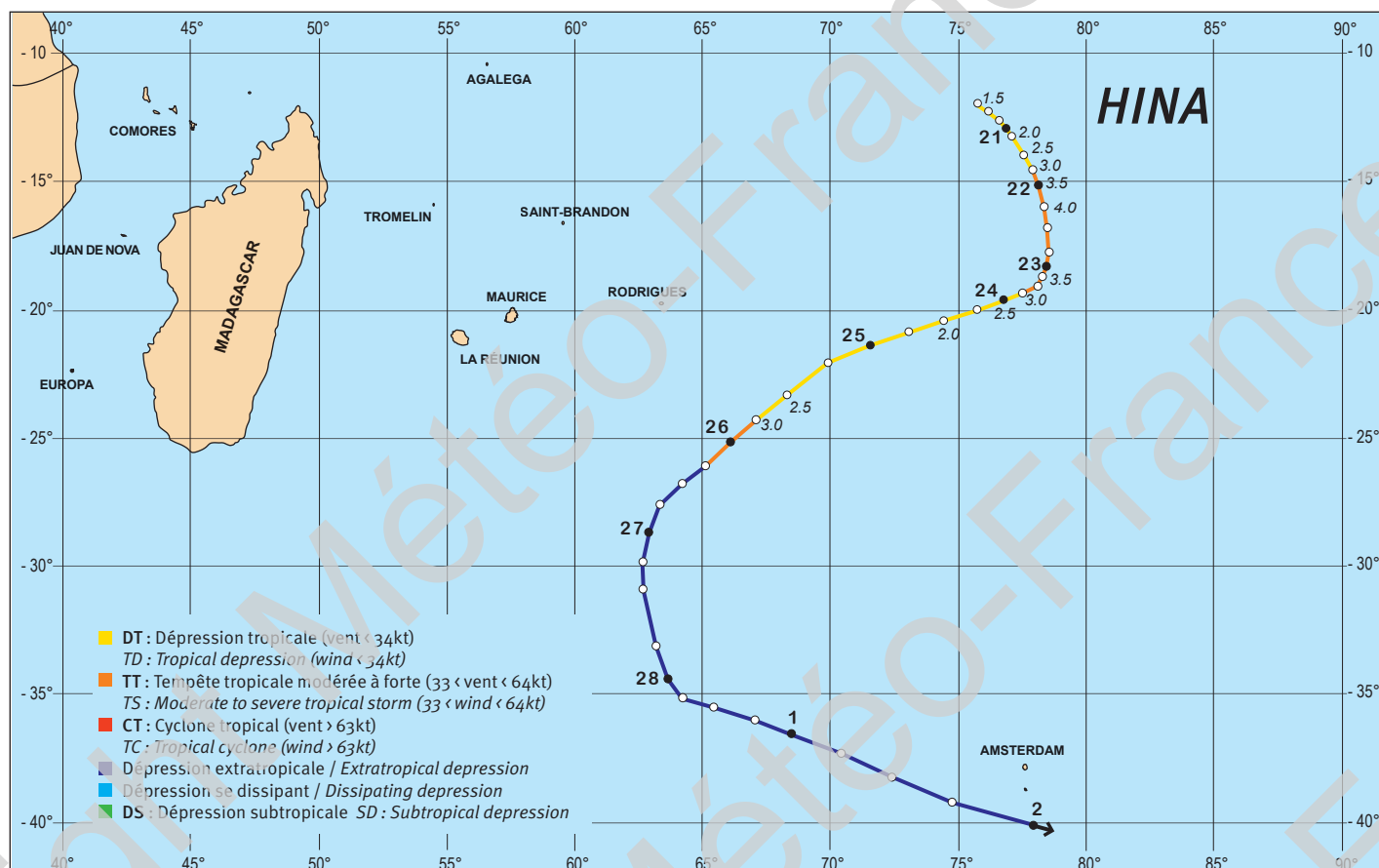


Début d'affaiblissement d'HINA. Le météore subit les effets d'un cisaillement vertical de vent croissant, comme le montre bien l'imagerie micro-onde : repoussé par la ventilation de nord, le centre d'altitude, encore bien visible en canal 89 GHz (image Color), se retrouve déphasé au sud du centre de basses couches décelable en canal 36 GHz, et qui apparaît pour sa part exposé hors de l'activité convective résiduelle.

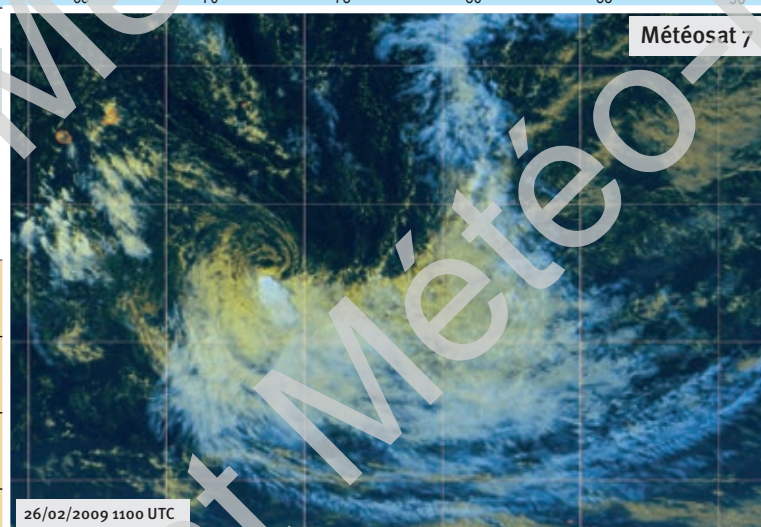


Onset of HINA's decaying phase. The meteor had started to undergo the impact of an increasing windshear. The induced vertical tilting was well portrayed by the microwave imagery : shoved away by the upper northerly ventilation, the mid-level cloud centre, still nicely depicted on the 89 GHz channel (Color image), appeared displaced to the south of the low-level centre discernible on the 36 GHz channel as exposed out of the residual convective activity.

En journée du 26, la structure nuageuse apparaît de nouveau très cisaillée, avec un vortex complètement exposé et la configuration globale est celle d'un système en voie d'extratropicalisation. Incurvant vers le sud, le météore s'apprête à décrire une trajectoire pseudo-parabolique classique. Le point de recourbement se produit au franchissement du 30ème parallèle Sud, en matinée du 27. La dépression résiduelle se comble lentement au cours des jours suivants. Emportée vers l'est-sud-est, elle transite au sud de l'île d'Amsterdam à l'aube du 2 mars.

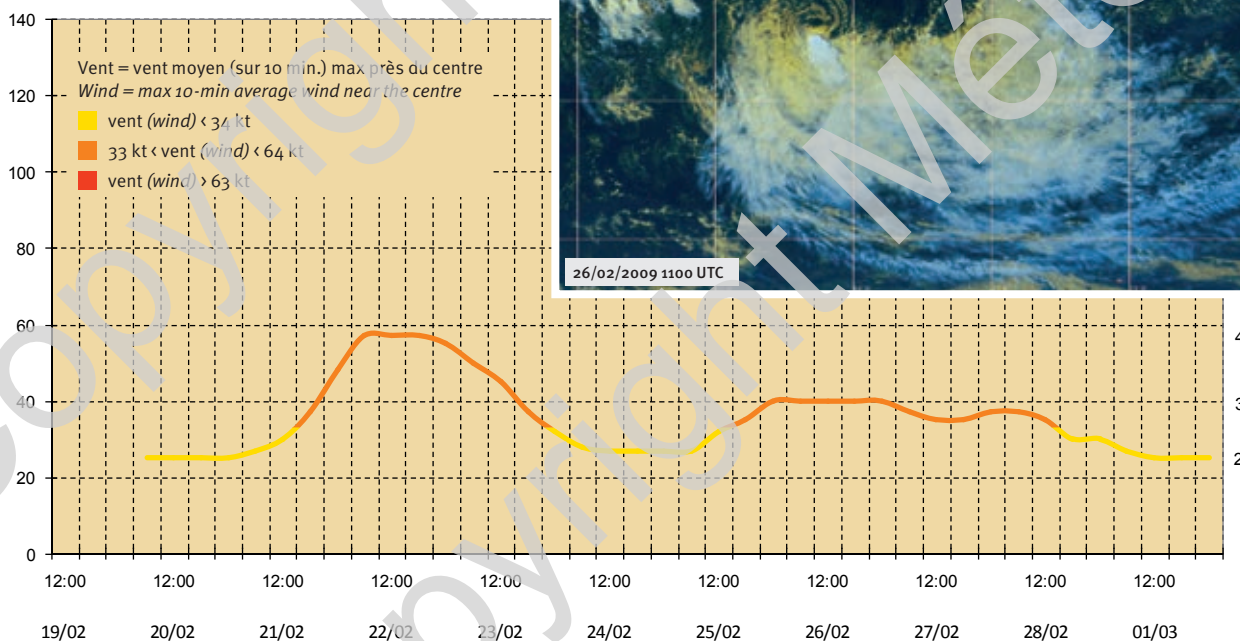


L'ex-HINA au sud-est de l'archipel des Mascareignes.
Ex-HINA to the southeast of the Mascarene Archipelago.



26/02/2009 1100 UTC

HINA DU 20/02 AU 02/03/2009



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)

Izilda

Forte Tempête Tropicale

du 22 au 29 mars 2009

Severe Tropical Storm "Izilda" (22-29 March 2009)



FORMATION

A

près plusieurs semaines plutôt calmes, à peine troublées par le développement d'une dépression tropicale éphémère sur l'Est du bassin en fin de première décennie de mars (système n°10 non retenu en tant que système dépressionnaire significatif de la saison), la fin de saison va voir le développement successif de deux tempêtes tropicales de part et d'autre de Madagascar, en liaison avec l'initiation et la propagation vers l'est d'une nouvelle phase humide de la MJO. Le 22 mars, une zone de basses pressions occupe le centre et le nord du Canal de Mozambique. On ne peut pas parler de talweg ou de dépression de mousson, car il n'y a en l'occurrence aucune alimentation de mousson. Si des vents de nord à nord-ouest sont présents du côté nord, ils n'ont absolument aucune origine trans-équatoriale et sont de plus très localisés, soufflant – très modérément d'ailleurs – entre les Comores et la côte africaine uniquement. Du côté sud, une dorsale de basse troposphère recouvre la partie sud-ouest du Canal, remontant le long des côtes mozambicaines jusqu'aux environs du 20^{ème} parallèle Sud en surface.

Orientée parallèlement à la bordure septentrionale de cette dorsale, une bande nuageuse modérément structurée, et associée à de la convection morcelée, s'étire de l'extrême sud-est du Malawi jusqu'au sud-ouest de Madagascar. Axée nord-ouest/sud-est, cette bande nuageuse de quelque 400 km de large, matérialise ce qui s'apparente à un pseudo-axe de convergence avec l'alizé. Elle est en phase avec une étroite dorsale d'altitude encadrée entre un puissant courant-jet de nord-ouest, qui fait l'interface avec un talweg au sud-ouest,

et des vents de sud-est qui soufflent plus modérément du côté équatorial. Avec des flux orientés en sens quasiment inverse en basse troposphère, ces deux zones de vents en altitude de direction opposée sont associées à du fort cisaillement vertical de vent, délimitant, entre elles, une petite bande, en phase avec la dorsale d'altitude, où le cisaillement de vent est faible à modéré.

Le 23 mars, le champ de pression est en baisse d'environ 2 hPa dans tout le secteur est du Canal compris entre la côte malgache et les îles de Juan de Nova et d'Europa, alors que la pression est en hausse sur la côte mozambicaine. Très probablement issu des terres situées au sud de la province mozambicaine de Nampula, un minimum de pression se décale sud à sud-sud-est à plus de 200 km au sud-ouest de Juan de Nova. Assez mal défini sur l'imagerie satellitaire, il apparaît en revanche beaucoup plus clairement sur le champ de vents dérivé des données diffusiométriques de l'orbite QuikScat de la fin de journée, qui montre une circulation dépressionnaire assez large et beaucoup mieux structurée qu'on aurait pu l'imaginer au vu de la seule imagerie satellitaire, avec cependant les vents les plus forts situés à distance respectable du centre (200-300 km).

On retrouve cette même configuration sur l'orbite suivante du début de journée du 24, la dépression simplement décalée plus au sud et désormais positionnée dans le secteur nord-est de l'île d'Europa. A ceci près cependant que le paysage a, dans l'intervalle, singulièrement changé sur l'imagerie satellitaire : à la convection limitée en importance et dépourvue d'organisation de la veille, a succédé l'éclosion spectaculaire de deux noyaux d'intense convection de part et d'autre

du centre dépressionnaire. Cette organisation bicéphale ne perdure toutefois pas très longtemps, le noyau situé au nord tendant à se désagréger assez rapidement, tandis que celui au sud parvient à se maintenir, mais en perdant de sa superbe l'après-midi, sous l'effet du cycle diurne.

Tout cela n'a pas été sans impacter le champ de pression, avec à la fois une baisse supplémentaire, mais également un réarrangement du gradient de pression, la couronne des vents les plus forts se rapprochant du centre de ce qui est désormais considéré, en début d'après-midi, comme une dépression tropicale.

ÉVOLUTION

Mais aussi significative que soit cette évolution, son importance est à relativiser. L'imagerie micro-onde tempère ainsi nettement l'impression laissée par l'imagerie classique : le gain d'organisation y apparaît beaucoup moins impressionnant. Du moins jusqu'en fin de journée, moment où une bande incurvée se constitue rapidement, s'enroulant autour du centre dépressionnaire par l'ouest. Ce supplément d'organisation amène à classer en début de nuit le météore en tempête tropicale modérée, baptisée IZILDA.

La perturbation, qui continue de progresser en direction du sud-sud-est, vient de passer par le travers de la ville de Morombe, étant alors centrée à un peu plus de 120 km à l'ouest de la côte malgache, et à 180 km à l'est d'Europa, où le vent est à la baisse après avoir culminé en milieu de journée, avant le moment du passage au plus près de l'île (intervenu lui dans l'après-midi, à 165 km au nord-est), y atteignant de manière très transitoire le stade du grand frais (avec tout de même une rafale maximale mesurée à 49 nœuds – 91 km/h).

IZILDA se situe maintenant au meilleur endroit possible, dans la petite zone de cisaillement de vent faible sous la dorsale d'altitude. Il ne faudrait cependant pas qu'elle poursuive trop longtemps sa route vers le sud, sous peine de se heurter au puissant courant jet de nord-ouest qui circule au sud-ouest de Madagascar. Mais pour l'heure, la présence de ce jet est tout à fait favorable au météore : elle dope la divergence d'altitude, constituant un relais extrêmement efficace pour évacuer le flux sortant d'altitude d'IZILDA du côté polaire.

Pour autant, le processus d'intensification ne respire pas l'aisance absolue. La structure nuageuse n'est pas du tout stabilisée et demeure très mouvante,

25/03/2009 0720 UTC

IZILDA en phase d'intensification, non loin au large des côtes sud-ouest de Madagascar. Le météore, de petite taille, présente une activité convective encore modérée et structurée en bande incurvée, s'enroulant autour d'un vortex de nuages bas déjà bien affirmé.

IZILDA while intensifying not far off the southwestern seaboard of Madagascar. The small-sized meteor displayed a convective activity which was still moderate and structured in a curved band wrapping around an already tightly wound low-level cloud vortex.

tandis que les hauts et les bas par lesquels semble passer l'organisation du système ne facilitent pas la lisibilité de l'évolution. La bande incurvée affichée en soirée du 24 ne perdure ainsi que quelques heures, pour laisser place en deuxième partie de nuit à un amas de convection à la fois peu imposant et relativement informe, un changement de configuration qui, de prime abord, ne dénote pas une tendance manifeste à l'intensification...

Mais malgré les apparences et aussi peu impressionnante que fût la convection,

FORMATION

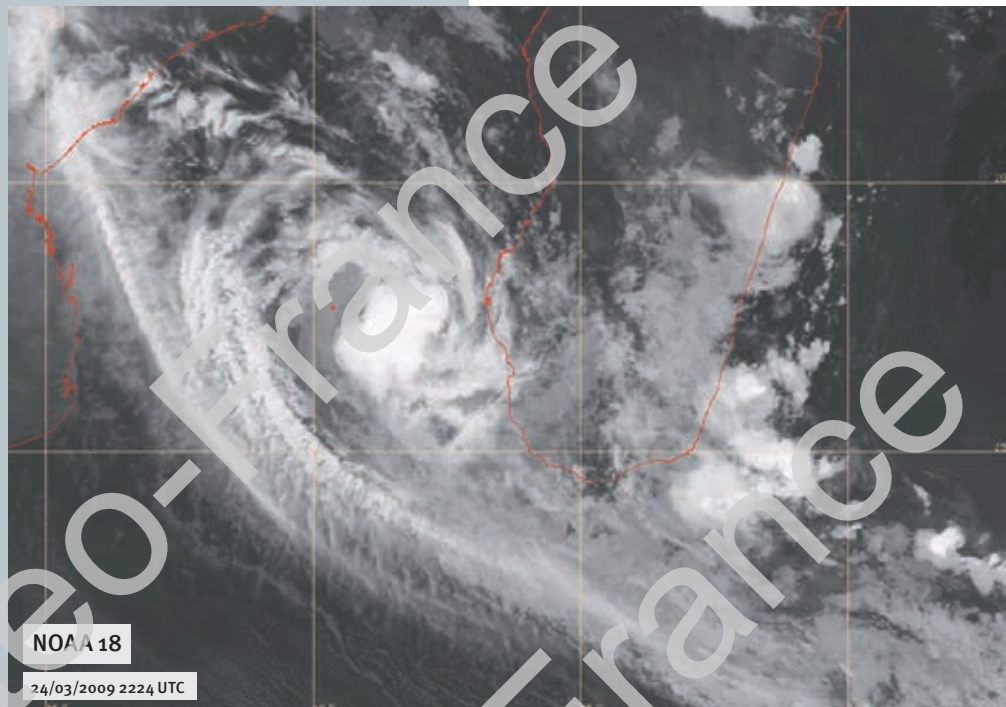
After several rather quiet weeks, hardly disturbed by the formation of a short-lived depression in the eastern part of the basin at the end of the first decade of March (system N°10 not kept in the records as a significant system of the season), the end of the season witnessed the development of two successive tropical storms on either side of Madagascar, in connection with the initiation and the eastward propagation of a new moist phase of the MJO.

On 22 March, a low-pressure area encompassed the whole central and northern Mozambique Channel. Calling it monsoon trough or monsoon depression was not applicable here, as in that case there was no monsoon flow. If northerly to northwesterly winds were present on the northern side, they were absolutely not of trans-equatorial origin and were moreover very localized, blowing – very moderately as a matter of fact – between the Comoro Islands and the African coast only. On the southern

side, a low troposphere ridge covered the southwestern portion of the Channel, spreading northward along the Mozambique coasts as far as the vicinity of latitude 20°South near the surface. Running parallel to the northern boundary of that ridge, a moderately well-shaped cloud band, associated with some scattered convection, extended from the far southeast of Malawi to the southwest of Madagascar. Stretching northwest/southeast, that cloud band, some 400 km wide, materialized what could be assimilated to a pseudo-axis of convergence with the trade winds. It was in phase with a narrow upper ridge embedded between a powerful northwesterly jet stream, which interfaced with a trough to the southwest, and southeasterly winds which were more moderately blowing on the equatorial side. Overlaying lower tropospheric winds blowing in almost opposite directions, these two reversely oriented upper wind zones were associated with strong vertical windshear, delimiting, between them, a small band, in phase with the upper ridge, where the windshear was weak to moderate.

On 23 March the pressure field dropped by about 2 hPa over the whole eastern sector of the Channel, between the Malagasy coast and Juan de Nova and Europa islands, whereas the pressure was rising on the Mozambique coast. Very likely born over the lands situated to the south of the Nampula Province in Mozambique, a low shifted slightly east than due south, tracking more than 200 km to the southwest of Juan de Nova. Rather poorly defined on the satellite imagery, it was much more clearly depicted on the wind field derived from the scattometer data of the QuikScat orbit acquired at the end of the day, which showed a rather wide clockwise circulation which was much better structured than could have been imagined from the satellite imagery alone, with, however, the strongest winds situated quite a long distance away from the centre (200-300 km).

The same pattern could be seen on the next orbit early morning of 24 March, except that the depression had meanwhile drifted further to the south and was now positioned in the northeastern sector of Europa Island. But with the big difference however that in the meantime the scene had quite significantly changed on the satellite imagery: the scarce convection, deprived of organization, had given way to the spectacular outburst of two impressive balls of intense convection on either side of the low pressure centre.



IZILDA, au stade de tempête tropicale modérée, entre l'île d'Europa et la côte sud-ouest de Madagascar. Contrairement à ce que pourrait laisser penser sa structure nuageuse, pas franchement impressionnante à l'heure de cette image, le météore est sur le point d'entamer une phase d'intensification assez rapide, qui l'amènera moins de 24h plus tard proche du stade de cyclone tropical. La bonne divergence d'altitude, dopée du côté polaire par la présence non loin au sud-ouest du système d'un courant-jet d'altitude (bien matérialisé par le filament de cirrus visible sur la gauche de l'image), a grandement participé de cette évolution à venir.

IZILDA at the stage of moderate tropical storm, between Europa Island and the southwestern coast of Madagascar. Contrary to what its cloud structure (not really impressive at the time this picture was taken) would lead one to believe, the meteor was about to start a phase of rather rapid intensification, which will bring it less than 24h later close to the tropical cyclone stage. The good upper divergence, doped poleward by the presence not far to the southwest of the system of an upper jet stream (nicely materialized by the filament of cirrus visible to the left hand side of the image), highly contributed to the evolution to come.

However, that "two-headed" configuration did not last very long, the nucleus situated to the north tended to fade rather quickly, while that to the south managed to remain, but lost some of its bumptiousness in the afternoon, under the effect of the diurnal cycle.

All that evolution did not take place without any impact on the pressure field, inducing both an additional fall, but also a rearrangement of the pressure gradient, with the crown of strongest winds drawing nearer to the centre of what was henceforth considered, from the beginning of the afternoon, as a tropical depression.

EVOLUTION

But however significant that evolution was, its importance should be relativized. Thus the microwave imagery gave a much tempered perspective than the classic imagery: the gain in organization appeared to be much less impressive there. But this discrepancy ceased at the end of the day, when a curved band quickly took shape, wrapping around the low-level circulation centre from the west. That definite improvement in terms of organization led to upgrade the meteor as a moderate tropical storm, named IZILDA, at the beginning of the night. The storm, which went on tracking towards the south-southeast, had just

sa pérennité au voisinage du minimum dépressionnaire semble avoir été suffisante pour permettre au météore de continuer de se développer. C'est, en effet, le constat auquel on est obligé d'aboutir au matin du 25, au vu de l'évolution explicite présentée par la configuration nuageuse. Aucun doute possible cette fois sur l'intensification: plus que la nouvelle petite bande incurvée formée, c'est surtout le vortex bien affirmé désormais constitué en basse troposphère, qui atteste sans ambiguïté du gain de vorticité.

Le processus s'accélère ensuite au fil de l'après-midi: le vortex de basses couches se contracte, tandis que la convection se consolide au-dessus, autour d'un   cil érigé graduellement depuis la surface et qui gagne en définition au fil des heures. Le summum d'organisation est atteint en première partie de nuit du 25 au 26 mars, ce qui vaut à IZILDA d'être analysé au stade supérieur de la forte tempête tropicale. Le météore n'ira pas au-delà de cette intensité.

Coincé entre deux cellules anticycloniques de moyenne troposphère (l'une centrée sur l'Afrique australe, l'autre au niveau des Mascareignes) dont les influences sur le flux directeur de la perturbation s'annihilent, IZILDA a pourtant cessé de s'enfoncer vers le sud et après avoir fait mine de se diriger vers l'est en cette

première partie de nuit du 25 au 26, se rapprochant jusqu'à moins de 100 km de la côte malgache, stationne sur place le reste de la nuit, au large de Tuléar. Cet arrêt de la progression vers le sud était indispensable pour éviter au météore de se heurter frontalement au jet d'altitude évoqué précédemment, mais il ne va cependant pas s'avérer suffisant pour sauver IZILDA. Car si la tempête a cessé de se mouvoir, il n'en va pas de même du jet d'altitude, qui s'est décalé vers l'est et s'est du coup rapproché du météore, commençant d'empiéter sur son système nuageux. Bien que modérée, la ventilation de nord-ouest induite va rapidement pénétrer au cœur du météore, par trop vulnérable du fait de sa petite taille, et le déstructurer.

Cela ne va prendre que quelques heures et, dès avant la mi-journée du 26 mars, le système apparaît complètement cisailé, avec une convection quasiment entièrement "soufflée". Repris par le flux d'alizés, le vortex résiduel de basses couches met à peu près au même moment le cap au nord-ouest, se décalant lentement jusqu'au lendemain matin, puis à allure plus soutenue ensuite. Le comblement

passed abeam the town of Morombe, being then centred a little more than 120 km to the west of the Malagasy coast, and 180 km to the east of Europa Island, where the winds tended to abate after having culminated towards midday, prior to the closest passage to the island of the storm's centre (which occurred in the afternoon, 165 km to the northeast), reaching gale force very transiently (with a peak gust yet recorded at 49 knots - 91 km/h).

IZILDA was then situated at the best place possible, in the small area of weak windshear beneath the upper ridge. However, it should not keep moving on this southward heading for too long on pain of colliding with the powerful northwesterly jet stream which was flowing to the southwest of Madagascar. But for the time being, the presence of that jet stream was quite favourable to the meteor: it boosted the upper divergence, acting as an extremely efficient poleward upper outflow channel for IZILDA. Nevertheless, the intensification process was far from being easy. The cloud pattern was not stabilised at all remaining very unsettled, while the ups and downs that the organization of the system seemed to go through did not facilitate the legibility of the evolution. The curved band displayed during the evening of 24 March thus lasted only a few hours,

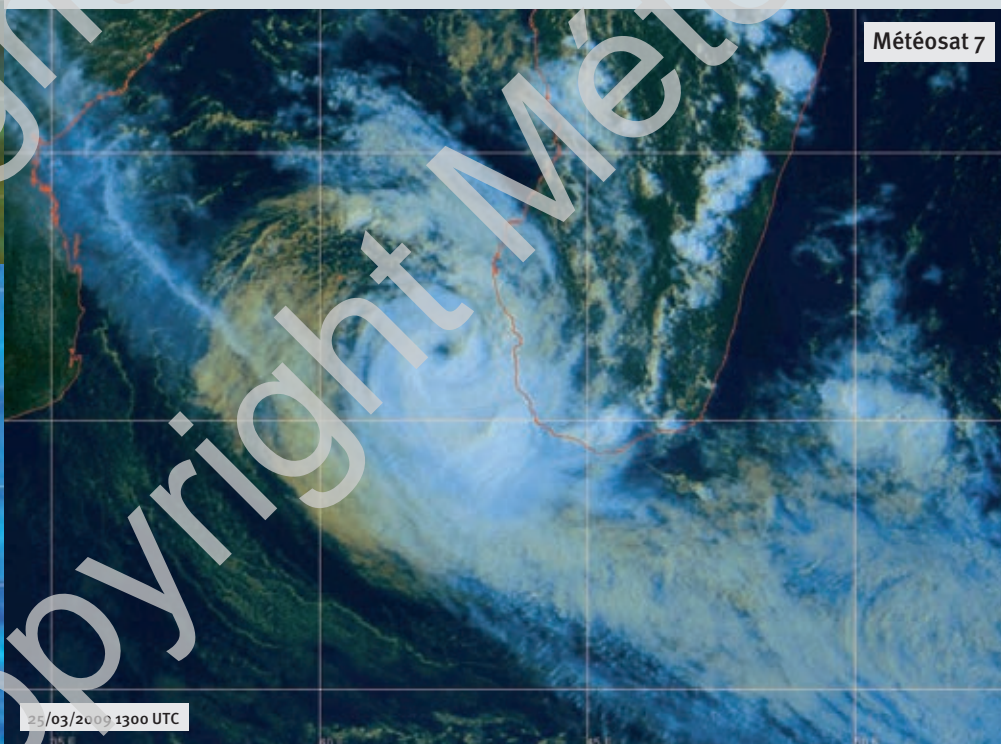
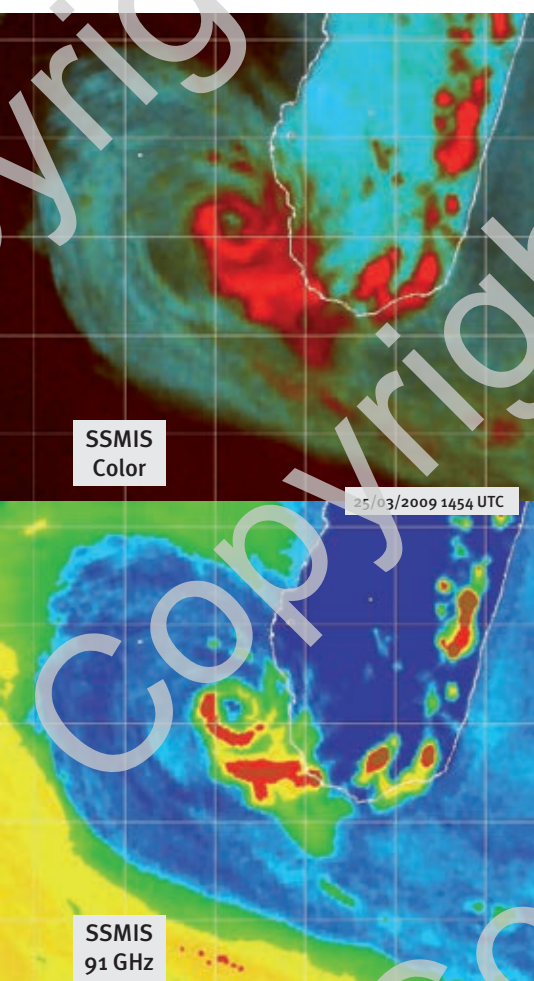
to give way, during the second part of the night, to a cluster of convection both little imposing and relatively shapeless, an alteration of the cloud configuration which, at first glance, did not indicate any tendency of intensification...

But in spite of appearances and however little impressive convection was, its persistency in the vicinity of the low seemed to have been sufficient to enable the meteor to go on developing. It was indeed the conclusion to which one had to come to in the morning of 25 March, given the explicit evolution displayed by the cloud pattern. This time, there was no doubt about the intensification: more than the new small curved band which had formed, it was mainly the prominent vortex which had from then on taken shape in the lower troposphere, which testified unambiguously to a gain in vorticity.

Then the process sped up as the afternoon went by: the low-level vortex shrank, while convection strengthened above it, around an eye which gradually built up from the surface and became more clearly defined in the course of the following hours. The peak of organization was reached during the first part of the night of 25 to 26 March, which earned IZILDA to be upgraded to the severe tropical storm stage. But the meteor would not develop any further.

IZILDA peu avant son maximum d'intensité. Un œil vient de se constituer, mais il ne perdurera pas suffisamment longtemps pour permettre au système d'être classé en cyclone tropical.

IZILDA just before reaching its intensity peak. An eye had just taken shape, but it would not last long enough to enable the system to be ranked as a tropical cyclone.

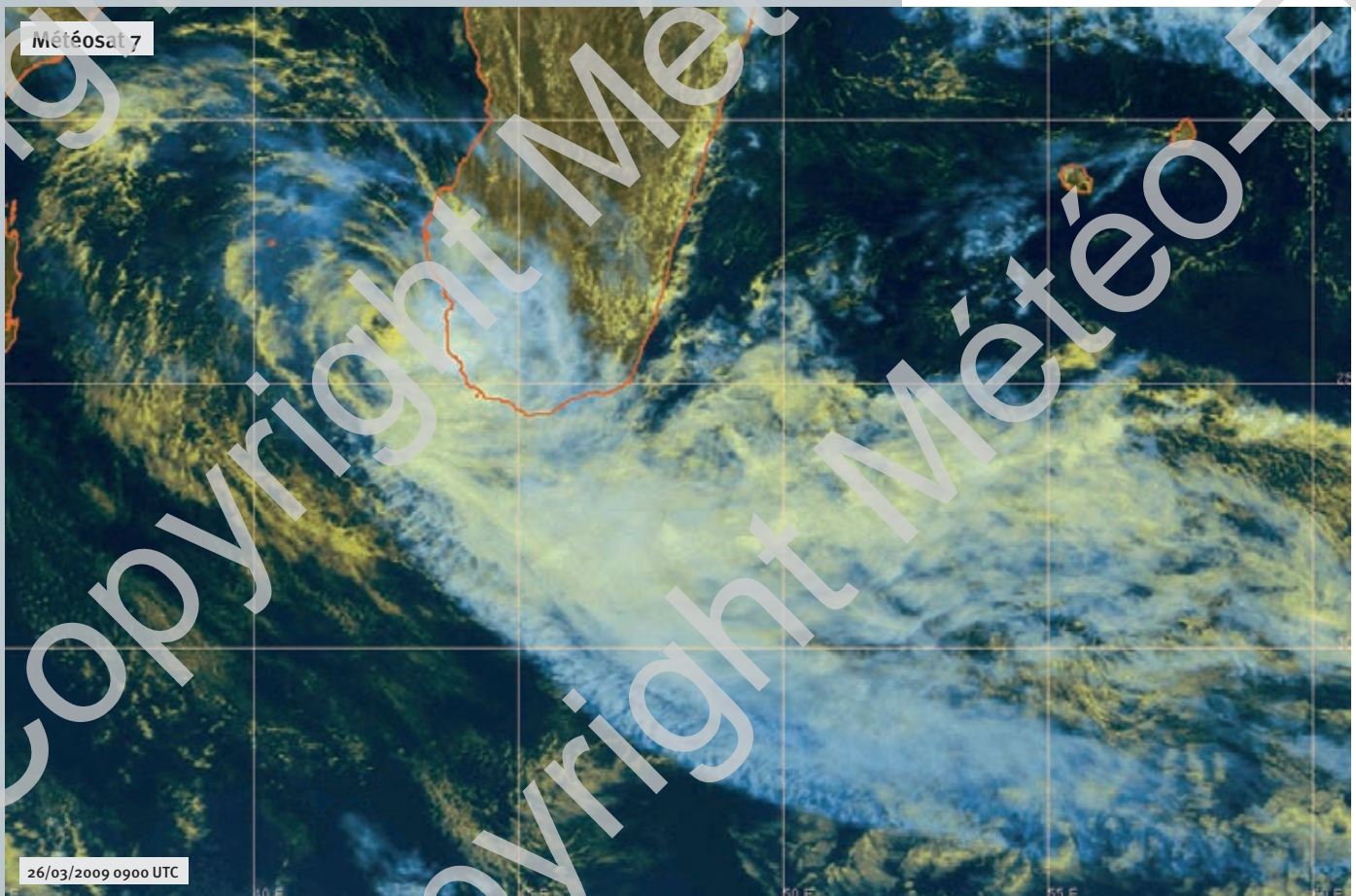


Sandwiched between two mid troposphere highs (one centred on southern Africa, the other on the Mascareignes) whose influences on the steering flow of the disturbance annihilated each other, IZILDA had yet stopped moving southward and after initiating an eastward motion during that first part of the night of 25 to 26 March, thereupon approaching the Malagasy coast at a distance of less than 100 km, it came to a standstill during the rest of the night, off the city of Tuléar. Holding up the southward progression was indispensable for the meteor to avoid bumping head on into the aforementioned upper jet stream, but it did not prove sufficient to save IZILDA however. As a matter of fact, if the storm had stopped moving, the same could not be said of the upper jet stream, which had shifted eastward and as a result came nearer the meteor, and began to encroach upon its cloud system. Although moderate, the induced northwesterly ventilation soon penetrated the core of the meteor, far too vulnerable because of its small size, and dismantled it. That took only a few hours and, long

before midday on 26 March, the system appeared to be completely sheared, with an almost entirely blown-off convection. Caught up in the trade wind flow, the low-level remnant vortex gradually headed northwest at about the same time, drifting slowly until the next morning, then at a faster pace. The filling of the disturbance was rather quick and the minimum central pressure was estimated to have risen above 1000 hPa by the morning of 27 March, then 1005 hPa before the end of the following night, when it finished bypassing Europa Island via the north. It would then end its course over the Mozambique, penetrating the African continent in the afternoon of 29 March, a little to the south of the city Beira, bringing a few associated stormy showers. Like several of its predecessors, IZILDA could only benefit from a limited time window of favourable conditions to develop. Before weakening, it had enough time to influence the southwestern Malagasy coast, but not excessively, having been opportunely stuck off Tuléar, where gusts of winds yet topped at 130 km/h.

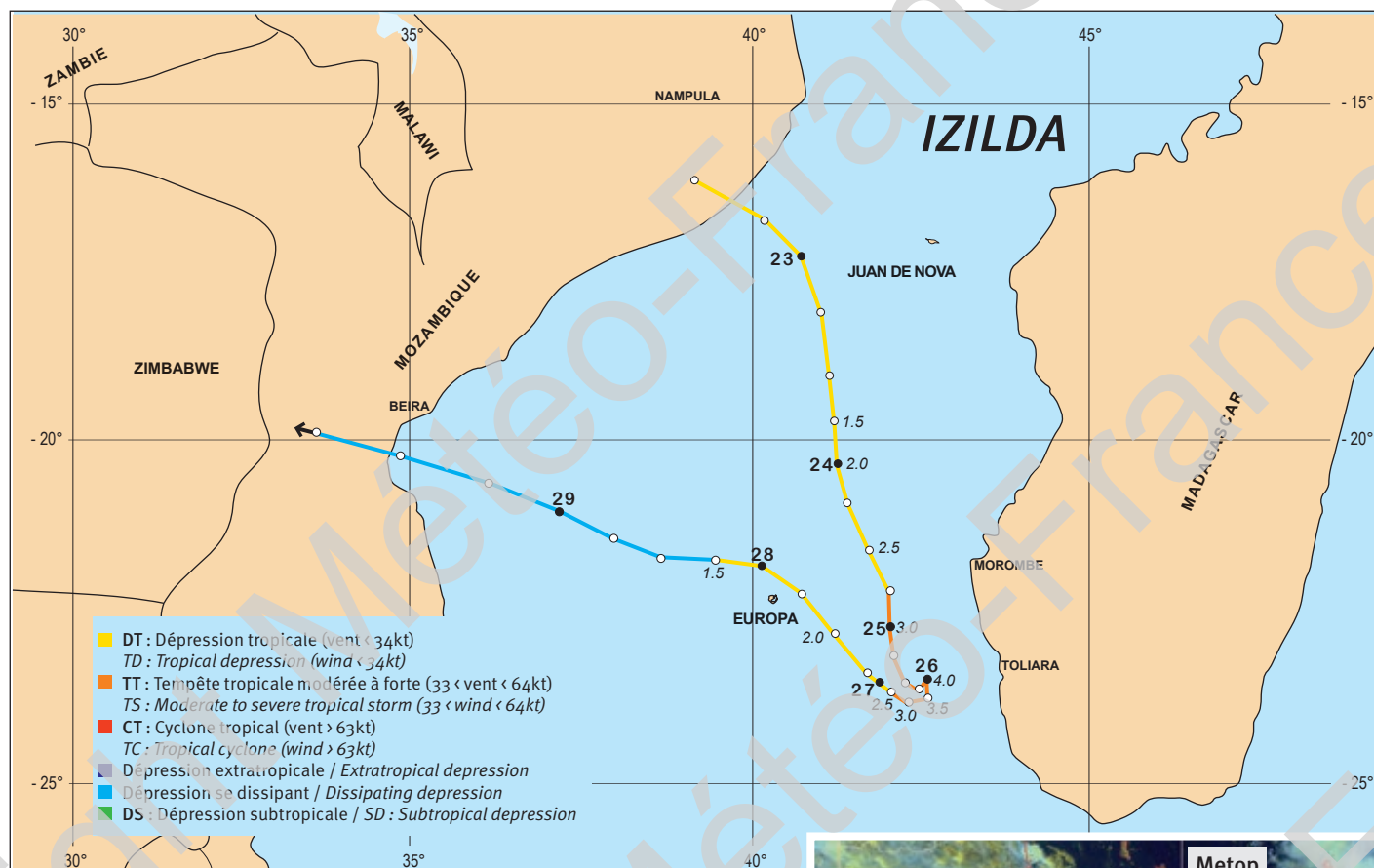
de la perturbation est assez rapide et le minimum de pression centrale est estimé repasser au-dessus des 1000 hPa au matin du 27, puis des 1005 hPa avant la fin de nuit suivante, moment où il achève de contourner par le nord l'île d'Europa. Il finira ensuite sa course sur le Mozambique, pénétrant sur le continent africain dans l'après-midi du 29, un peu au sud de Beira, avec quelques pluies orageuses associées.

A l'image de plusieurs de ses prédécesseurs, IZILDA n'aura pu bénéficier que d'une fenêtre temporelle réduite de conditions favorables pour se développer. Avant de s'affaiblir, il a tout de même eu le temps d'influencer la côte sud-ouest malgache, mais sans excès toutefois, ayant opportunément été bloqué au large de Tuléar, où les rafales de vents ont quand même atteint 130 km/h.

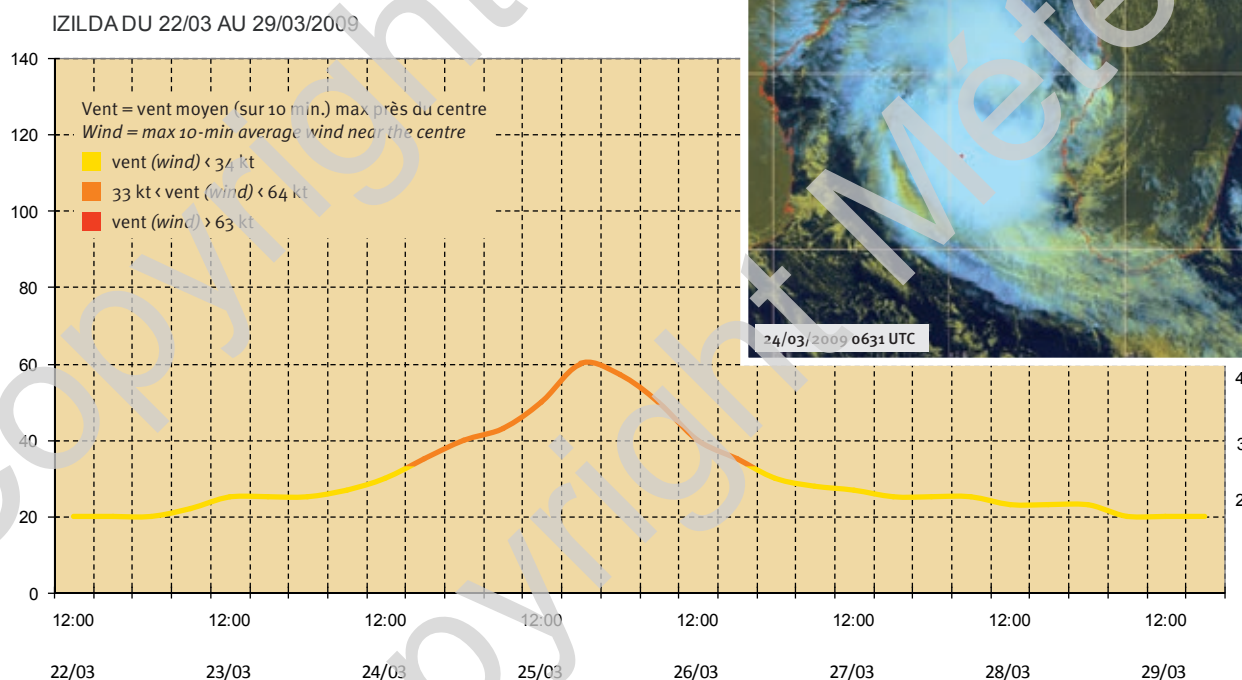
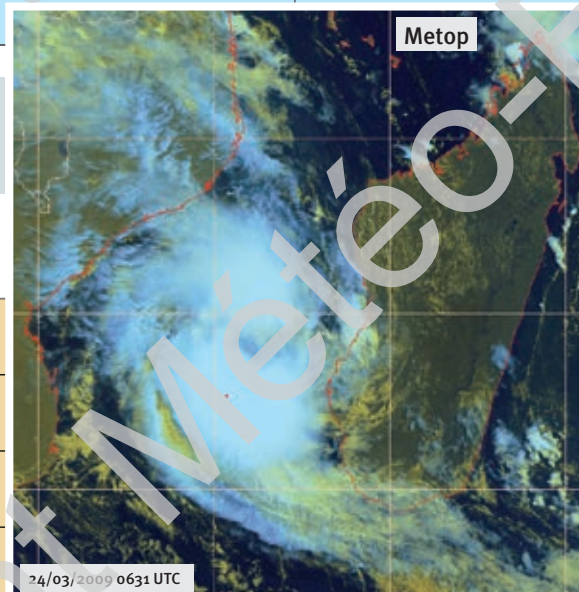


Destruction brutale d'IZILDA par cisaillement de vent. L'augmentation de la ventilation de nord-ouest en altitude a eu raison de la tempête, faisant se volatiliser la convection. Aussi rapide qu'avait été la phase d'intensification sera la phase d'affaiblissement.

Brutal dismantling of IZILDA by windshear. The increase of upper northwesterly ventilation got the better of the storm, whose convection disappeared all together. The weakening phase would be as fast as the intensification phase had been.



Genèse du futur IZILDA. Le classement en dépression tropicale a été précédé par un pic d'activité convective, s'étant développé de manière bicéphale sur le Canal de Mozambique.
Genesis of to-become IZILDA. The upgrading to the tropical depression stage was preceded by a notable escalation of the convective activity having burst out in a two-headed way.



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)

Jade

Forte Tempête Tropicale

du 3 au 12 avril 2009

Severe Tropical Storm "Jade" (3 - 12 April 2009)



FORMATION



ébut avril, une zone d'activité convective d'extension notable, est sous surveillance au sud-ouest des Chagos. Les prévisionnistes du CMRS gardent un œil d'autant plus attentif sur cette zone, que les modèles numériques lui entrevoyent un réel potentiel de développement à moyenne échéance. Mais pour l'heure, les conditions ne sont pas remplies pour une cyclogenèse : depuis plusieurs jours, il y a absence quasi-complète de flux trans-équatorial sur le bassin, et l'alizé n'étant guère plus vigoureux du côté sud, la convergence de basses couches est dès lors très insuffisante pour pouvoir enclencher quoi que ce soit.

Mais à partir du 3 au soir, le flux de mousson tend à se rétablir progressivement au niveau de l'archipel des Seychelles et à l'est. Cela bouge également du côté polaire : le 4, le champ de pression est à la hausse au sud de Madagascar et cette hausse se propage jusqu'aux Mascareignes ; le gradient se renforce et l'alizé gagne graduellement en consistance.

Au matin du 4, la zone perturbée, dont le point focal transite alors non loin au sud des îlots d'Agalega, montre des signes patents d'organisation. Et si le champ de pression n'a pas encore franchement réagi, la configuration nuageuse affichée constitue un signal clair de la situation de pré-genèse en cours, avec une convection organisée en bandes nuageuses aux courbures plutôt affirmées à ce stade précoce. Comme la situation d'altitude apparaît très favorable, avec un cisaillement vertical de vent faible et une excellente divergence, avec un flux sortant d'altitude structuré de manière

assez classique en deux canaux d'évacuation, un du côté équatorial et un du côté polaire, tout semble en place pour une cyclogenèse imminente.

En première partie de nuit suivante, le champ de vents dérivé des données du diffusiomètre Ascat confirme le début de creusement et l'accroissement du cyclonisme : la zone de basses pressions très élongée jusque là existante, a laissé place à une circulation dépressionnaire digne de ce nom, même si les vents de 20-25 nœuds affichés ne sont pour l'instant présents que dans les secteurs est, en lien avec l'alimentation de mousson, et sud, du côté alizé. Si cette circulation dépressionnaire apparaît de dimensions limitées en surface, les bandes nuageuses qui gravitent autour s'étendent par contre très loin, avec une organisation tourbillonnaire qui s'accroît au fil de la nuit et gagne encore en ampleur, s'étalant désormais sur plus de 1000 km de diamètre horizontalement. Le classement du système en dépression tropicale survient avant la fin de nuit.

ÉVOLUTION

Une couronne discontinuée de convection profonde se constitue au matin du 5 avril autour de la zone centrale de la dépression et JADE devient tempête tropicale modérée avant la mi-journée. Le météore, qui se décalait jusque là en direction générale de l'ouest-sud-ouest, adopte au même moment un déplacement plein sud-ouest, en bordure d'une dorsale de moyenne troposphère qui prolonge vers le nord une cellule de hauts géopotentiels alors centrée dans les parages de l'île Rodrigues. JADE se dirige désormais droit vers le Cap Est, extrémité la plus orientale de Madagascar, dont elle n'est plus distante que de 270 km.

Cette proximité va éviter à la Grande Ile de subir un impact trop sévère, JADE n'ayant matériellement pas le temps d'atteindre une intensité trop conséquente. Et il est d'autant plus heureux que la perturbation ne disposait que d'un laps de temps réduit (moins de 18h) avant que ne survienne son atterrissage sur la côte malgache, qu'elle va connaître une phase d'intensification rapide durant cet intervalle. Tirant le meilleur parti de conditions d'altitude qui demeurent extrêmement favorables, JADE se développe, en effet, de manière accélérée à partir de cette matinée du 5, au rythme d'un point de gain en 12h sur l'échelle d'intensité de Dvorak, et seule son arrivée prématurée sur terre va l'empêcher d'atteindre le stade de cyclone tropical.

C'est, en effet, dès avant la fin de nuit du 5 au 6 avril, que l'œil en formation du météore aborde la côte malgache. Occulté sur l'imagerie classique, il apparaît de mieux en mieux défini sur l'imagerie micro-onde et tend à se contracter aux abords du littoral, qu'il coupe finalement au sud du Cap Est, peu avant l'aube. JADE est alors analysé au stade supérieur de la forte tempête tropicale, les vents maximaux moyens sur 10 min étant estimés à 60 nœuds (occasionnant des rafales maximales sur mer supérieures à 150 km/h). Après avoir prestement traversé la presqu'île de Masoala, puis le bras de mer de la baie d'Antongil, le centre de la tempête tropicale, partiellement affaibli, effectue un second atterrissage à la mi-journée, au niveau de la localité de Mananara.

Répondant à une orientation de plus en plus méridienne de la dorsale de moyenne altitude, toujours solidement ancrée au niveau des Mascareignes et qui continue à gouverner le flux directeur de la perturbation, celle-ci a infléchi son déplacement en direction du sud-sud-ouest, avant de s'enfoncer plein sud dans la nuit du 6 au 7. Après avoir ainsi longé la côte, une vingtaine de km à l'intérieur des terres, passant par le travers de l'île Ste-Marie en fin d'après-midi du 6, le centre de la dépression s'en rapproche graduellement en deuxième partie de nuit suivante, ressortant finalement en mer au sud de Tamatave, au niveau du Canal des Pangalanes, en début de journée du 7 avril.

Bien qu'en bonne partie comblé suite à son parcours terrestre de près de 20h, le minimum dépressionnaire résiduel, estimé de manière fiable à 997 hPa grâce aux observations d'une bouée située proche de la côte, reste suffisamment affirmé pour que des vents de la force du coup de vent soient encore présents, par effet

JADE affecte le nord-est de Madagascar... et La Réunion.

Le centre de la forte tempête tropicale vient de traverser la presqu'île de Masoala et les bandes nuageuses liées au cœur du météore arrosent alors copieusement tout le nord-est de la Grande Ile. A Antalaha, où les vents soufflent encore forts (40 nœuds de vent moyen) et où la pression est descendue à 990 hPa en fin de nuit, 209 mm de précipitations sont tombés au cours des dernières 24h.

Les bandes nuageuses périphériques s'étendent quant à elles jusqu'aux abords de La Réunion, annonçant une deuxième vague pluvieuse à venir, succédant à un premier épisode pluvio-orageux sévère survenu la nuit précédente et ayant fait de gros dégâts dans le Sud.

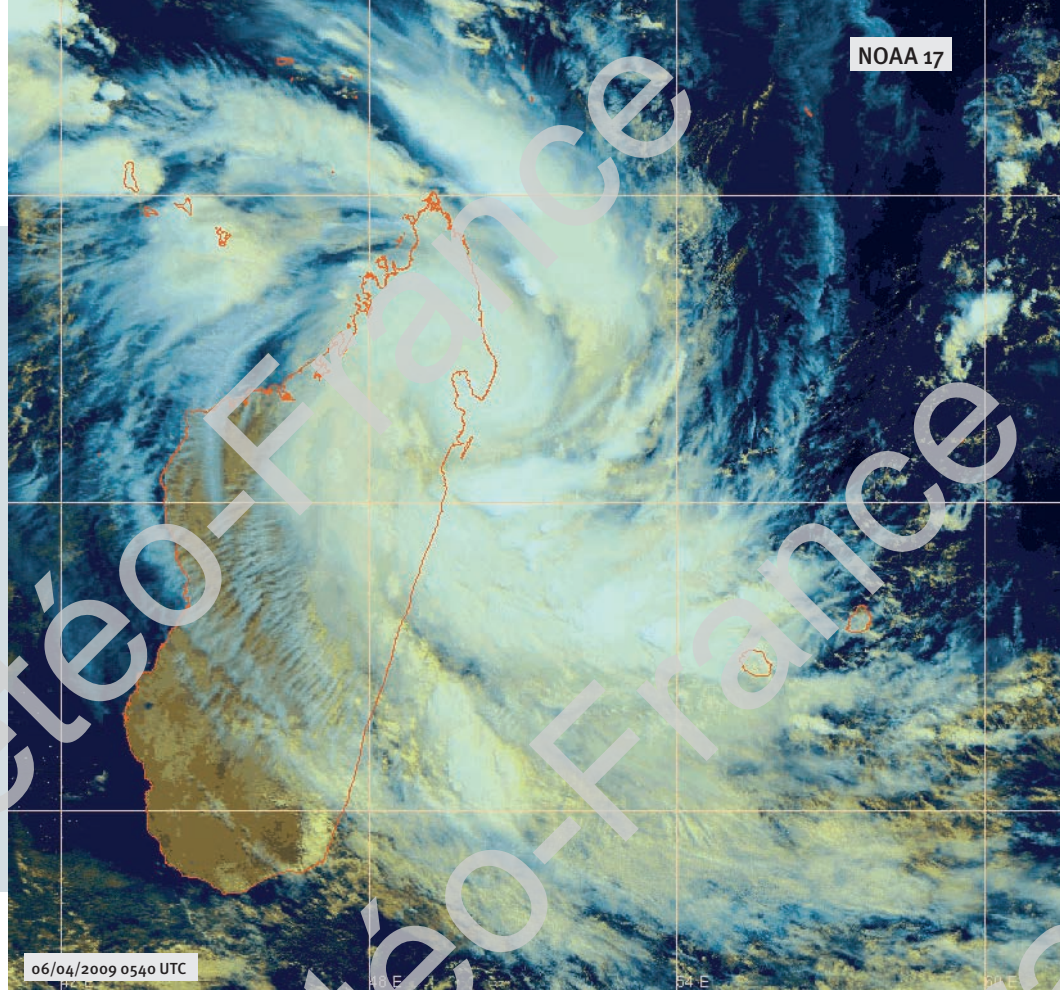
JADE affecting the Northeast of Madagascar... and La Réunion. The centre of the severe tropical storm had just crossed the Masoala Peninsula and the cloud bands related to the core of the meteor were pouring heavy rainfall on the northeast of the Great Island. At Antalaha, where the winds were still very strong (10-min average winds of 40 knots) and where the pressure dropped down to 990 hPa at the end of the night, 209 mm of rain fell during the last 24h.

The peripheral cloud bands stretched as far as the vicinity of La Réunion Island, announcing a second rain event to come, succeeding to a first severe rain storm episode which had occurred during the previous night and which had caused great damage in the South.

de gradient, dans les secteurs est à sud de la circulation dépressionnaire. Cette zone est également le siège d'une forte convergence avec les hautes pressions subtropicales, ce qui résulte en la présence, dans ce même demi-cercle sud, d'une bande nuageuse et convective très active, qui balaye et arrose copieusement toute la façade orientale de Madagascar, au fur et à mesure de la descente vers le sud du système.

Descente qui ne tarde d'ailleurs pas à subir un sérieux coup de frein. Effet secondaire de l'arrivée au contact de la barrière des hautes pressions subtropicales, le météore décélère brutalement en fin de journée du 7. La vitesse de déplacement chute à 5-6 km/h en deuxième partie de nuit suivante, pour se stabiliser à ce niveau durant les quelque 40h à venir.

En partie déstructuré par son séjour sur terre, JADE n'est plus analysable par la technique de Dvorak à sa sortie de Madagascar et présente, outre la bande nuageuse convective pré-citée, un petit vortex exposé parfaitement visible au centre de la circulation dépressionnaire. Malgré une contrainte cisailée de nord-ouest modérée, de la convection se développe dans la nuit du 7 au 8 au-dessus et autour du centre de la perturbation, occasionnant très vraisemblablement un début de re-croisement de la dépression associée. Mais cette velléité de réorganisation est sans lendemain. Le jet subtropical empiète de façon croissante sur le météore et s'il draine toujours un puissant canal d'évacuation vers le sud-est en altitude, il génère surtout un cisaillement vertical de vent de plus en plus virulent.

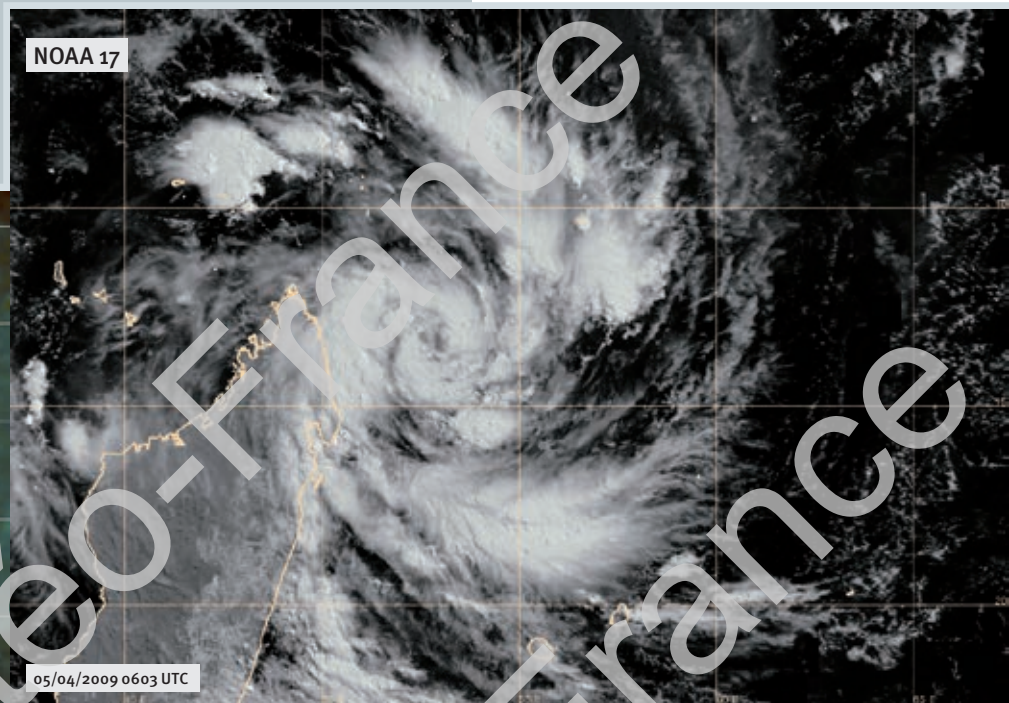
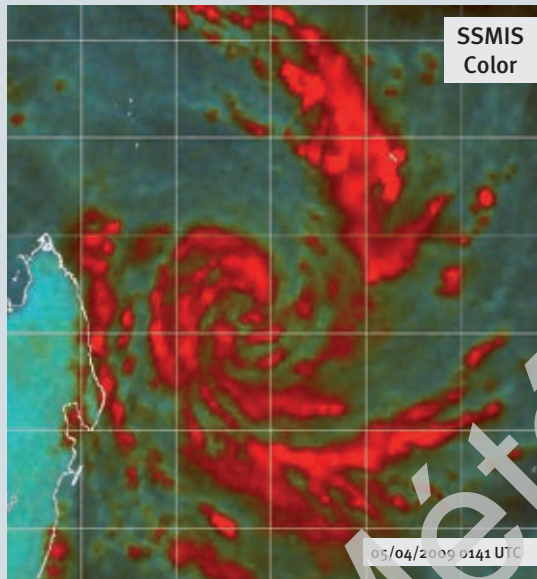
**FORMATION**

At the beginning of April an area of convective activity of significant size was being monitored to the southwest of the Chagos Archipelago. The RSMC forecasters were keeping an eye all the more attentively on that area as the numerical models foresaw real potentialities of development at medium range. But for the time being, conducive conditions to cyclogenesis were not met : for several days there had been an almost complete absence of trans-equatorial flow over the basin, and as the trade winds were not much more vigorous on the southern side, low-level convergence was hence very insufficient to trigger any spin up. But from the evening of 3 April, the monsoon flow tended to re-establish progressively over the Seychelles Archipelago and to the east. Things started to change poleward too: on 4 April, the pressure field started to rise to the south of Madagascar and that rise spread as far as the Mascareignes; the gradient strengthened and the trade winds gradually became more consistent. In the morning of 4 April, the zone of disturbed weather, whose focal point then transited not far to the south of the Agalega Islets, showed obvious signs of organization. And if the pressure field had not yet definitely reacted, the displayed cloud pattern represented a clear signal of an ongoing pre-genesis situation, with a convection organized into cloud bands of rather definite curvature at that early

stage. As the upper-level situation appeared to be very favourable, with a weak vertical windshear and an excellent divergence, with the upper outflow divided in a rather classical dual channel pattern, one equatorward and one poleward, everything seemed to be ready for an imminent cyclogenesis. During the first part of the following night, the windfield derived from the Ascat scatterometer data confirmed the onset of the deepening and spin up of the circulation : the very elongated low-pressure area which had been present up to then, had now given way to a clockwise circulation worthy of the name, even if the strongest winds of 20-25 knots were for the time being only displayed in the eastern sector, linked to the monsoon surge, and in the southern sector, on the trade wind side. If that low circulation appeared to be of limited size near the surface, the cloud bands which orbited around it stretched very far on the other hand, with a swirling circulation which increased as the night went by and extended further, spreading henceforth over more than 1000 km horizontally in diameter. The system was ranked as a tropical depression before the end of the night.

EVOLUTION

A discontinuous crown of deep convection built in the morning of 5 April around the central part of the depression and JADE became a moderate tropical storm before midday. The meteor, which had



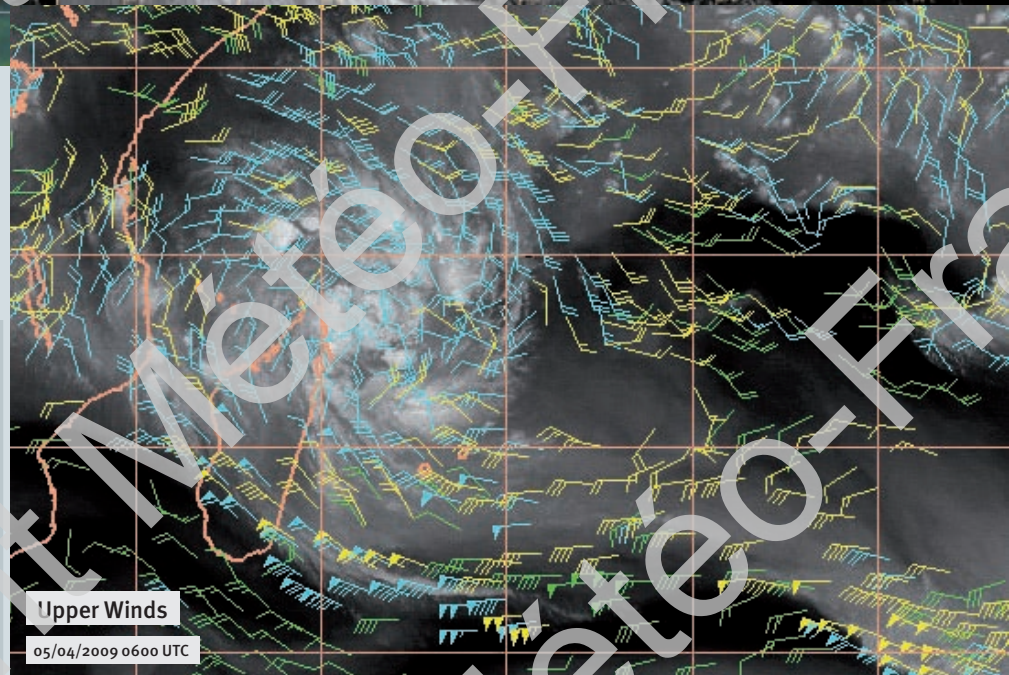
JADE juste avant son classement en tempête tropicale modérée. Bénéficiant d'une très bonne divergence d'altitude (avec deux canaux d'évacuation bien identifiés par les vents satellite ci-dessous), le phénomène débute alors une phase d'intensification rapide.

JADE just before being ranked as a moderate tropical storm. Benefiting from a very good upper divergence (with a dual outflow channel pattern clearly identified by the satellite driftwinds below), the phenomenon then began a rapid intensification phase.

been shifting up to then in a general west-southwesterly direction, adopted a due southwest motion at the same time, along the boundary of a ridge of mid troposphere which constituted the northward extension of a cell of high geopotential then centered in the vicinity of Rodrigues Island. JADE headed henceforth straight towards the Cape East, the easternmost tip of Madagascar, which was now only 270 km away.

That proximity would spare the Great Island a too hard hit, as JADE did not in practice have enough time to reach an intensity that could be too prejudicial. That reduced lapse of time (less than 18h) granted to the storm before it made landfall on the Malagasy coast was all the more fortunate as it would go through a rapid intensification phase during that interval. Taking the best advantage of the upper level conditions which remained extremely favourable, as a matter of fact JADE developed rapidly from that morning of 5 April onwards, at the rate of one point intensity jump in 12h on the Dvorak scale, and only its premature arrival on shore would prevent it from reaching the tropical cyclone stage.

It was indeed before the end of the night of 5 to 6 April, that the formative eye of the meteor already accosted the Malagasy seaboard. Obscured on the classical imagery, it appeared to be more and more clearly defined on the microwave



imagery and tended to shrink near the coastline, which it eventually crossed to the south of Cape East, just before dawn. JADE was then analysed at the stage of severe tropical storm, the maximum 10-min average winds being estimated at 60 knots (generating peak gusts at sea over 150 km/h). After promptly crossing the Masoala Peninsula, then the sound of Antongil Bay, the centre of the tropical storm, partially weakened, made a second landfall at midday, nearby the village of Mananara. Responding to a more and more meridian-like orientation of the mid-level ridge, still firmly anchored over the Mascarene and which continued to rule the steering flow of the disturbance, the latter had bent its track southwestward, before plunging due south during the night of 6 to 7 April. Thus, after cruising along the coast, some twenty km inland, passing

JADE baigne désormais dans un environnement définitivement barocline et son système nuageux évolue alors vers une structure hybride, avec une configuration s'apparentant à celle d'un système en voie de transition extra-tropicale avancée, mais avec de la convection encore présente par bouffées, comme celle, relativement importante, se développant dans la nuit du 9 au 10 avril.

C'est aussi le moment où la perturbation, qui dérivait à 6-7 km/h en direction du sud-est depuis plus de 24h, commence à reprendre de la vitesse. Cette remise en route est liée au rapprochement par le sud-ouest d'un talweg polaire, qui va "déverrouiller" la ceinture anticyclonique subtropicale et ouvrir la porte du grand sud à JADE, dont la vitesse de déplacement remonte à plus de 20 km/h dès le début de journée du 10.

Alors que le météore évolue, pour quelques heures encore, sur des eaux marginalement chaudes, une nouvelle bouffée de convection se développe, la nuit suivante, à proximité du minimum dépressionnaire. Celui-ci transite en deuxième partie de nuit à proximité d'une bouée dérivante, qui affiche un minimum de pression à 985 hPa, validant un début de creusement de l'ex-JADE, désormais en voie de transition extratropicale.

Expulsée à grande vitesse vers les moyennes latitudes, à l'avant du talweg frontal précité, la perturbation franchit le 30^{ème} parallèle Sud en fin de matinée du 11

abeam Ste-Marie Island towards the end of the afternoon of 6 April, the centre of the depression gradually drew nearer to the shoreline during the second part of the following night. After crossing the Canal of Pangalanes, it eventually went out to sea to the south of Tamatave, at the beginning of 7 April.

Although it had mostly filled up as a result of its overland stay of almost 20h, the residual depression, whose minimum central pressure was estimated in a reliable way at 997 hPa thanks to the observations from a buoy located near the coast, remained sufficiently deep for gale force winds to be still present, by

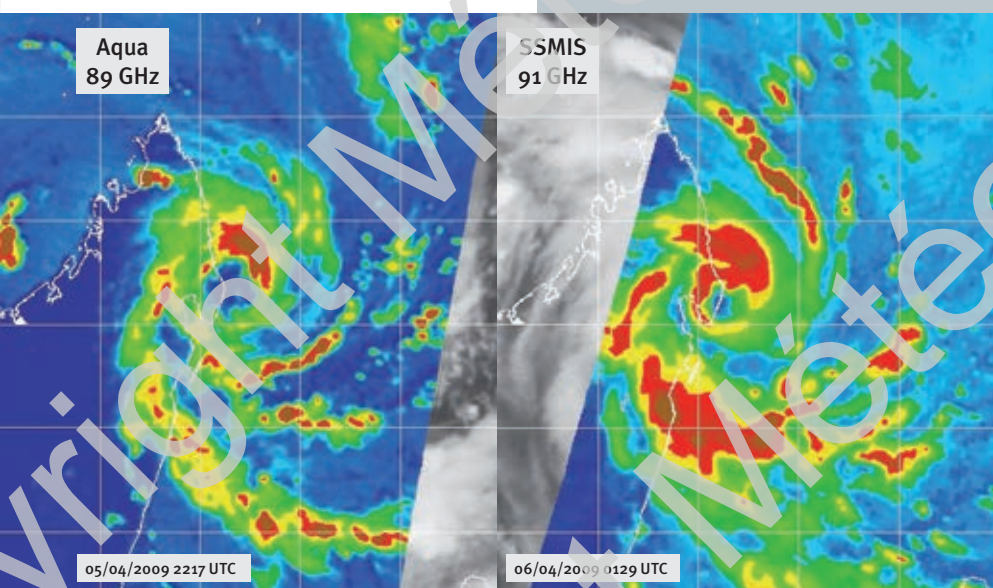
gradient effect, in the eastern to southern sectors of the clockwise circulation. A strong convergence with the subtropical high pressures also existed in that area, which resulted in the presence, in that same southern semi-circle, of a very active convective cloud band, which dumped heavy rainfall over the whole eastern side of Madagascar while sweeping across it in connection with the southward descent of the system.

That descent soon slowed down considerably. As a secondary effect of its bumping against the barrier of subtropical high pressures, the meteor brutally decelerated at the end of the day of 7 April. The speed of movement dropped to 5-6 km/h during the second part of the following night, and thereafter remained stable during the 40 or so hours to come. Partly dismantled by its overland stay, JADE could no longer be analysed by the Dvorak technique after leaving Madagascar. It displayed, in addition to the aforementioned convective cloud band, a small exposed vortex, perfectly visible in the middle of the clockwise circulation. In spite of a moderate northwesterly sheared constraint, some convection developed during the night of 7 to 8 April above and around the centre of the disturbance, very likely triggering an incipient re-deepening of the associated depression. But that attempt to reorganize was short-lived. The subtropical jet-stream increasingly encroached upon the meteor and if it still dragged in its wake a powerful outflow channel towards the southeast in altitude, it mainly generated more and more virulent vertical windshear.

JADE henceforth evolved in a definitely baroclinic environment and its cloud system was then transitioning towards a hybrid structure, with a configuration roughly matching that of a system about to complete an extratropical transition, but with some outbursts of convection still present, like the relatively important one, which developed during the night of 9 to 10 April.

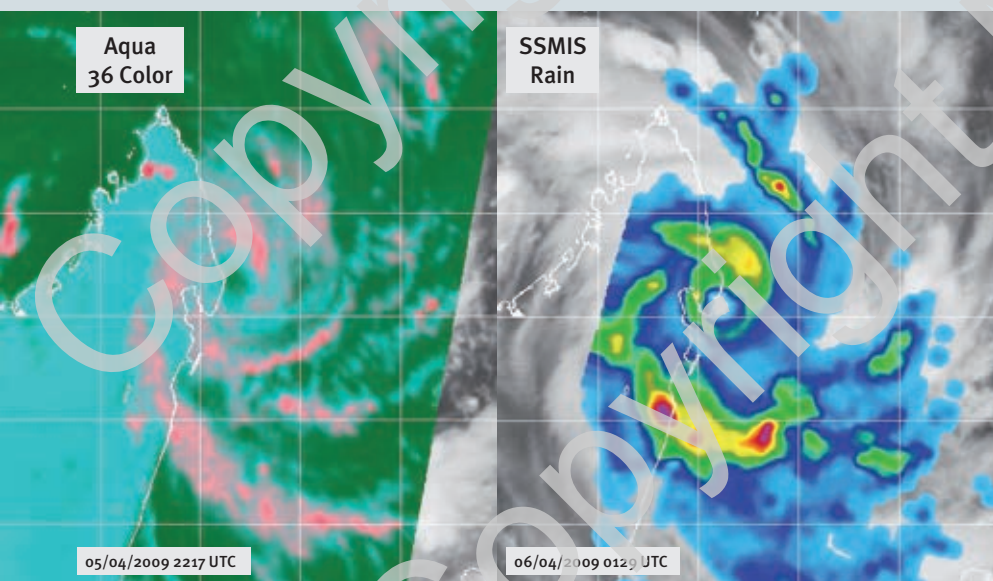
That was also the moment when the disturbance, which had been drifting at 6-7 km/h towards the southeast for more than 24h, began to regain speed. That restarting was related to a polar trough approaching from the southwest, which would "unlock" the subtropical high pressure belt and open the door to the far South to JADE, whose motion speed increased to more than 20 km/h from the beginning of 10 April.

While the meteor was tracking, for a few hours yet, over marginally warm waters, a new burst of convection unfolded during the following night near the low. The latter transited during the second part of the night in the vicinity of a drifting buoy,



Phase d'intensification ultime de JADE lors de son approche finale de Madagascar. L'imagerie micro-onde se révèle une nouvelle fois indispensable pour appréhender finement les évolutions de la structure interne d'un système dépressionnaire tropical : la définition accrue de l'œil et son rétrécissement, signent clairement ici l'intensification en cours du phénomène (qui sera interrompue prématurément par son arrivée sur terre).

JADE's ultimate intensification phase as it was making its final approach to Madagascar. Micro-wave imagery once again proved to be indispensable to accurately apprehend the alterations of the inner structure of a tropical system like this : the improving definition of the eye and its shrinking, clearly show here the ongoing intensification of the phenomenon (which would be prematurely stopped by the landfall).



TRMM
Color

06/04/2009 1207 UTC

TRMM
Rain

MADAGASCAR

0 10 20 30 40 50 mm/h

Aqua
Modis

06/04/2009 1035 UTC

which indicated a minimal pressure of 985 hPa, validating an incipient deepening of ex-JADE, which was henceforth about to transition to extratropical. Rapidly ejected toward the mid-latitudes, ahead of the above-mentioned frontal trough, the disturbance crossed latitude 30° South at the end of the morning of 11 April and underwent, during the next 24h, a phase of explosive extra-tropical deepening, which turned it into a mid-latitude violent storm as it neared the roaring forties. The pressure dropped below 950 hPa, as witnessed by another drifting buoy near which ex-JADE's centre passed at the beginning of the afternoon of 12 April. The depression would then lose strength, transiting at the end of the following night in the western sector of the Kerguelen Archipelago.

As the last system of the season, JADE brought some interest to a season somewhat lacking it. In addition to its influence on La Réunion and especially Madagascar, where its passage caused 15 fatalities and serious floods, leaving more than 60 000 disaster victims (source : BNGRC – the national Malagasy emergency management authority), its extra-tropical transition would be remembered as one of the most remarkable and spectacular that had ever been seen since the geostationary imagery has made it possible to monitor them at best (namely for the past eleven cyclone seasons).

et connaît au cours des 24h suivantes une phase de creusement extra-tropicale explosive, la transformant en violente tempête des moyennes latitudes à l'approche des 40èmes rugissants. La pression chute sous les 950 hPa, comme en atteste une autre bouée dérivante à proximité de laquelle le centre de l'ex-JADE passe en début d'après-midi du 12 avril. La dépression perdra ensuite de sa virulence, transitant en fin de nuit suivante dans le secteur ouest de l'archipel des Kerguelen.

Dernier système dépressionnaire de la saison, JADE aura donné un peu plus de relief à une saison qui en a manqué

JADE affecte le nord-est de Madagascar ... et La Réunion (suite). Après avoir traversé la baie d'Antongil, le centre de la tempête tropicale effectue à cet instant son second atterrissage sur la côte est malgache, au niveau de la localité de Mananara. Une large portion orientale de la Grande Ile se retrouve sous les masses nuageuses et pluvieuses associées au météore. Des lames d'eau fréquemment supérieures à 200 mm sont enregistrées sur toute cette région en l'espace de 48h (275 mm à Tamatave, dont 164 mm en 24h du 6 au 7 avril à 06 utc ; 233 mm sur l'île de Ste-Marie).

Le radar précipitations embarqué à bord du satellite TRMM, montre que les bandes pluvieuses les plus actives se trouvent au sud du minimum dépressionnaire, présentant des taux de précipitations localement supérieurs à 50 mm/h. Ces intempéries provoqueront des inondations faisant des victimes.

Loin à l'est, La Réunion est également touchée par des pluies torrentielles : l'extrême sud-est de l'île, dont on distingue clairement sur l'image qu'il est accroché par de puissants cumulonimbus, va subir un véritable déluge au cours des heures suivantes : au Baril/St-Philippe, 405 mm s'abattront ainsi en l'espace de 12h (dont 186 mm en seulement 3h).

JADE affecting the Northeast of Madagascar...and La Réunion (next episode). After crossing the Antongil sound, the centre of the tropical storm was making a second landfall at that very moment on the eastern Malagasy coast, at the village of Mananara. A wide eastern part of the Great Island found itself under rain cloud masses associated with the meteor. Rainfall amounts frequently exceeding 200 mm were recorded on the whole region within 48h (275 mm at Tamatave, of which 164 mm fell in 24h from 6 to 7 April at 06 utc ; 233 mm on the island of Ste-Marie).

The rain radar onboard the TRMM satellite, showed that the most active rain bands were situated to the south of the low, indicating rainfall rates locally over 50 mm/h. That bad weather will cause floods and casualties. Farther to the east, La Réunion was also affected by torrential rains : the far southeast of the island, which, as shown on the image, was being wrapped in powerful cumulonimbus clouds, will undergo a real downpour during the following hours : at Baril/St-Philippe, 405 mm will thus be dumped over the area within 12h (of which 186 in only 3h)

Météosat 7

07/04/2009 1100 UTC

Jade

Metop

JADE entre Madagascar et les Mascareignes. Déstructuré en partie par son séjour sur les terres malgaches, le système nuageux tente de se revigorer et de se réorganiser après la ressortie en mer. Entre la circulation dépressionnaire (dont le centre est bien identifiable sur l'imagerie) et les hautes pressions subtropicales présentes au sud, une bande nuageuse convective s'est constituée, produisant de fortes pluies sur la zone côtière sud-est de Madagascar comprise entre Mananjary et Farafangana (229 mm en 24h recueillis le 7 avril à Mananjary – 359 mm en 4 jours du 5 au 8).

JADE between Madagascar and the Mascarene. Partly dismantled by its overland stay on the Malagasy territory, the cloud system was trying to reinvigorate and reorganize after coming back to sea. Between the clockwise circulation (whose centre can be clearly identified on the imagery) and the subtropical high pressures present to the south, a convective cloud band had taken shape, producing heavy rains over the southeastern coast of Madagascar between Mananjary and Farafangana. (229 mm recorded in 24h on 7 April at Mananjary – 359 mm in 4 days from 5 to 8 April).

08/04/2009 0619 UTC

Spectaculaire cyclogenèse extra-tropicale pour l'ex-JADE. Après son évacuation du domaine tropical, la dépression résiduelle de l'ex-JADE a connu une phase de creusement remarquable, la transformant en violente tempête des moyennes latitudes, dont on peut admirer sur cette image le magnifique enroulement nuageux.

Spectacular extra-tropical cyclogenesis for ex-JADE. After withdrawing from the tropical domain, the remnant depression of ex-JADE underwent a remarkable deepening phase, which turned it into a violent mid-latitude storm, whose magnificent cloud whirl can be admired on this image.

Metop

12/04/2009 0458 UTC

11/04/2009 0519 UTC

quelque peu. Outre son influence sur La Réunion et surtout à Madagascar, où son passage a fait 15 morts et causé de sérieuses inondations, laissant plus de 60 000 personnes sinistrées (source Bureau National de Gestion des Risques et Catastrophes), on retiendra sa transition extra-tropicale, une des plus remarquable et spectaculaire qu'il ait été donné de voir depuis que l'imagerie géostationnaire permet de les suivre au mieux (soit onze saisons cycloniques).

JADE génère un deuxième épisode de fortes pluies sur La Réunion. La convection s'est volatilisée pour l'essentiel, sous l'effet d'un cisaillement vertical de vent de nord-ouest devenu trop virulent, conférant cette structure nuageuse hybride au météore. Elle subsiste localement dans le sud du vortex nuageux entourant le centre de la perturbation et surtout dans la partie est du système, où, dans le flux de secteur nord instable, une bande pluvio-orageuse a commencé d'influencer La Réunion, y occasionnant un nouvel épisode de fortes pluies, cette fois-ci sur les régions Est et Nord de l'île.

JADE while generating a second episode of heavy rains over La Réunion. Most of the convection had disappeared, being blown-off by a northwesterly vertical windshear which had become too strong, giving that hybrid cloud configuration to the meteor. It survived locally to the south of the cloud vortex surrounding the centre of the disturbance and mainly in the eastern part of the system, where, in the unstable northerly flow, a stormy rain band, had begun to affect La Réunion, bringing about a new round of heavy rains, this time over the eastern and northern regions of the island.

Le cœur de JADE a circulé bien au large de La Réunion (son centre ne s'est jamais approché à moins de 450 km du département). L'île n'a donc été concernée que par des bandes nuageuses périphériques liées à la tempête tropicale. Mais l'environnement très humide et instable de la perturbation a suffi à générer un épisode pluvieux conséquent, plus important même que celui de GAEL sur une bonne partie de l'île, en particulier sur les zones littorales et avec davantage de désordres à la clé.

Entre le 5 et le 10 avril, deux épisodes de fortes pluies ont sévi consécutivement sur l'île. L'Est, le Nord à un degré moindre, mais surtout le Sud sauvage, ont été affectés. Cette dernière région a été la plus arrosée, avec des précipitations temporairement diluviennes lors du premier épisode. Entre le 5 et le 7 avril, en moins de 48h, on y a enregistré des lames d'eau de 400 à plus de 750 mm (le maximum relevé sur le réseau de mesure, étant de 769 mm au Tremblot).

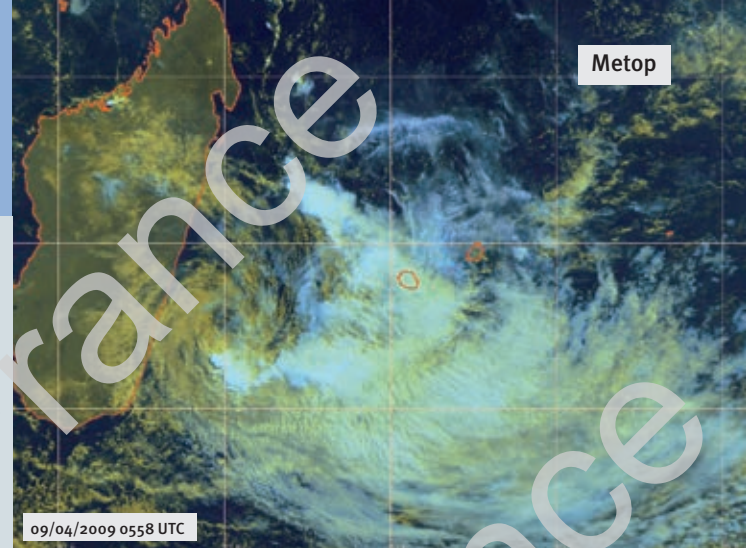
L'épisode de fortes pluies débute en fin de journée du 6 avril. En marge des bandes nuageuses ultra-périphériques liées à JADE, le flux d'est-sud-est devient très humide et instable. Des amas nuageux très actifs, à caractère orageux, se forment au voisinage de l'île, avec effet de blocage sur le flanc sud du volcan. Ils génèrent des précipitations intenses sur tout le secteur s'étendant de Grand-Bois jusqu'à Saint-Philippe (maximum observé de 84 mm en 1h à Petite-Ile et à La Crête – pour des cumuls de 207 et 333 mm en 3 et 6h respectivement sur ce dernier poste). De nombreux records de pluie journaliers pour un mois d'avril sont battus largement. Après une petite accalmie en journée du 6, les pluies orageuses redoublent d'intensité en fin de journée et jusqu'en milieu de nuit suivante, avant de cesser. Cette seconde vague pluvieuse, cette fois clairement liée à l'advection de bandes nuageuses externes de JADE, se focalise au premier chef sur la commune de St-Philippe, même si St-Joseph n'est pas complètement épargnée.

Lors de cet épisode des 5-6 avril, les précipitations ont été plus marquées sur la zone littorale que dans les Hauts, ce caractère inhabituel aggravant les conséquences pour les zones habitées. Les communes de St-Joseph (dont le centre a été dévasté par le débordement de la ravine Jean Petit – ce qui n'était pas arrivé depuis le 1er mai 1987) et de St-Philippe ont été les plus sévèrement touchées : les pluies y ont fréquemment dépassé les valeurs décennales. A Grand Galet, dans la vallée de Langevin, il est ainsi tombé 514 mm le 5 avril, tandis qu'à quelques km de là, à Vincendo, sur la côte, on recueillait 508 mm de précipitations en l'espace de 24h, entre le 5 et le 6 avril (et 637 mm en l'espace de 36h). Plus à l'est, les précipitations ont été encore plus diluviennes : au Baril/St-Philippe, 405 mm se sont abattus en l'espace de 12h dans la journée du 6 avril (dont 186 mm en 3h de temps), pour un cumul de 695 mm sur une durée de 30h entre le 5 et le 6.

Après un répit de plus de 24h, les pluies reprennent le 8 et surtout le 9 avril. La dépression résiduelle de JADE, partiellement comblée après son périple sur la côte est malgache, transite alors à l'ouest, puis au sud-ouest de La Réunion, passant au plus près des côtes du département en matinée du 10 (à 450 km au sud-ouest), avant de s'éloigner rapidement vers le Grand Sud. Une bande nuageuse convective affecte l'île le 9 et dans un flux de nord à nord-ouest qui demeure humide et instable jusqu'au lendemain, les intempéries concernent logiquement les régions de la moitié nord du département.

C'est la partie nord-est de l'île qui est prioritairement arrosée, avec deux pics d'intensité pluvieuse principaux, l'un survenant en fin de matinée du 9, l'autre en soirée (jusqu'à 61 mm en 1h relevés – à Mencil). Les précipitations sont cependant sans commune mesure avec celles subies dans les jours précédents par le Sud sauvage, correspondant à des durées de retour de 2-3 ans tout au plus. Les cumuls de 200 à 400 mm en 48h observés lors de ce second épisode pluvieux (398 mm à Bellevue Bras Panon, dont 310 mm tombés en 24h et 231 mm en 12h), suffisent toutefois à provoquer des inondations, car survenant sur des sols encore saturés suite à l'épisode pluvieux précédent des 5-6 avril, qui avait déjà occasionné des précipitations quasiment équivalentes (355 mm à Bellevue Bras Panon par exemple).

Ces très fortes précipitations induites par JADE ont été source de nombreux désordres dans le Sud sauvage et dans l'Est : coulées de boue, inondations et débordement de ravines, ont en particulier affecté de nombreuses habitations. Les voiries ont également souffert et les maraîchages ont été sinistrés. Le coût des dégâts a été estimé à plus de 15 millions d'euros.



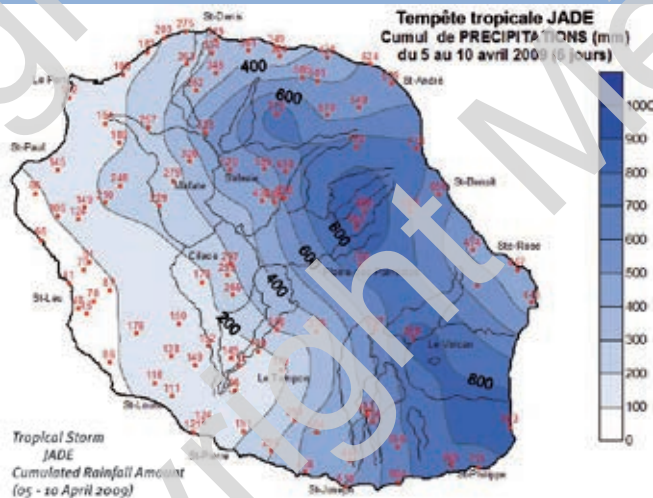
JADE's core transited far off the coast of La Réunion Island (its centre never came nearer than 450 km from the overseas French department). Therefore the island was only affected by peripheral cloud bands related to the tropical storm. But the very moist and unstable environment of the disturbance was enough to generate a very significant rain episode, even more important than that of GAEL over a large part of the island, mainly over the coastal areas and eventually generating more disorders and damage.

Between 5 and 10 April, two consecutive heavy rain episodes pounded away at the island. The eastern, and northern region to a lesser degree, but mainly the "Wild" South were affected. The latter underwent the heaviest rainfall, with temporarily torrential rains pouring down during the first episode. Between 5 and 7 April, in less than 48h, rainfall amounts of 400 mm to more than 750 mm were recorded there (the maximum value noted on the rain gauges network being 769 mm at the Tremblot – southeast coast).

The heavy rain event started at the end of the day of 6 April. Just outside the ultra-peripheral cloud bands related to JADE, the east-southeasterly flow became very moist and unstable. Very active cloud clusters, of thunderstorm nature, formed in the vicinity of the island, with a blocking effect on the southern slopes of the volcano. They generated intense rainfall over the whole sector extending from Grand-Bois to St-Philippe (maximum observed: 84 mm in 1h at Petite-Ile and at La Crête – for amounts of 207 and 333 mm in 3 and 6h respectively on the latter spot). Numerous daily rainfall records for the month of April were greatly beaten. After a short lull during the day of 6 April, the stormy downpours became even more intense at the end of the day and until the middle of the following night, before stopping. That second rainy wave, this time clearly related to the advection of JADE's outer cloud bands, focussed primarily on the town of St-Philippe, even if St-Joseph was not completely spared.

During that episode of 5-6 April, there was heavier rainfall on the coast than in the Heights, which was unusual and made the consequences worse for the inhabited areas. The towns of St-Joseph (whose centre was devastated by the overflowing Jean Petit ravine – something which had not happened since 1st May 1987) and of St-Philippe were the most severely affected places : the rains frequently exceeded the 10-year return values. At Grand Galet, in the Langevin valley, 514 mm fell on 5 April, while a few km away, at Vincendo, on the coast, 508 mm of rain were recorded within 24h, between 5 and 6 April (and 637 mm within 36h). Further to the east, rainfall was even more torrential : at the Baril/St-Philippe 405 mm poured on the area within 12h during the day of 6 April (of which 186 mm in 3h), for a cumulated amount of 695 mm within 30h between 5 and 6 April.

After a respite of more than 24h, rains resumed on the 8th and especially on the 9th April.

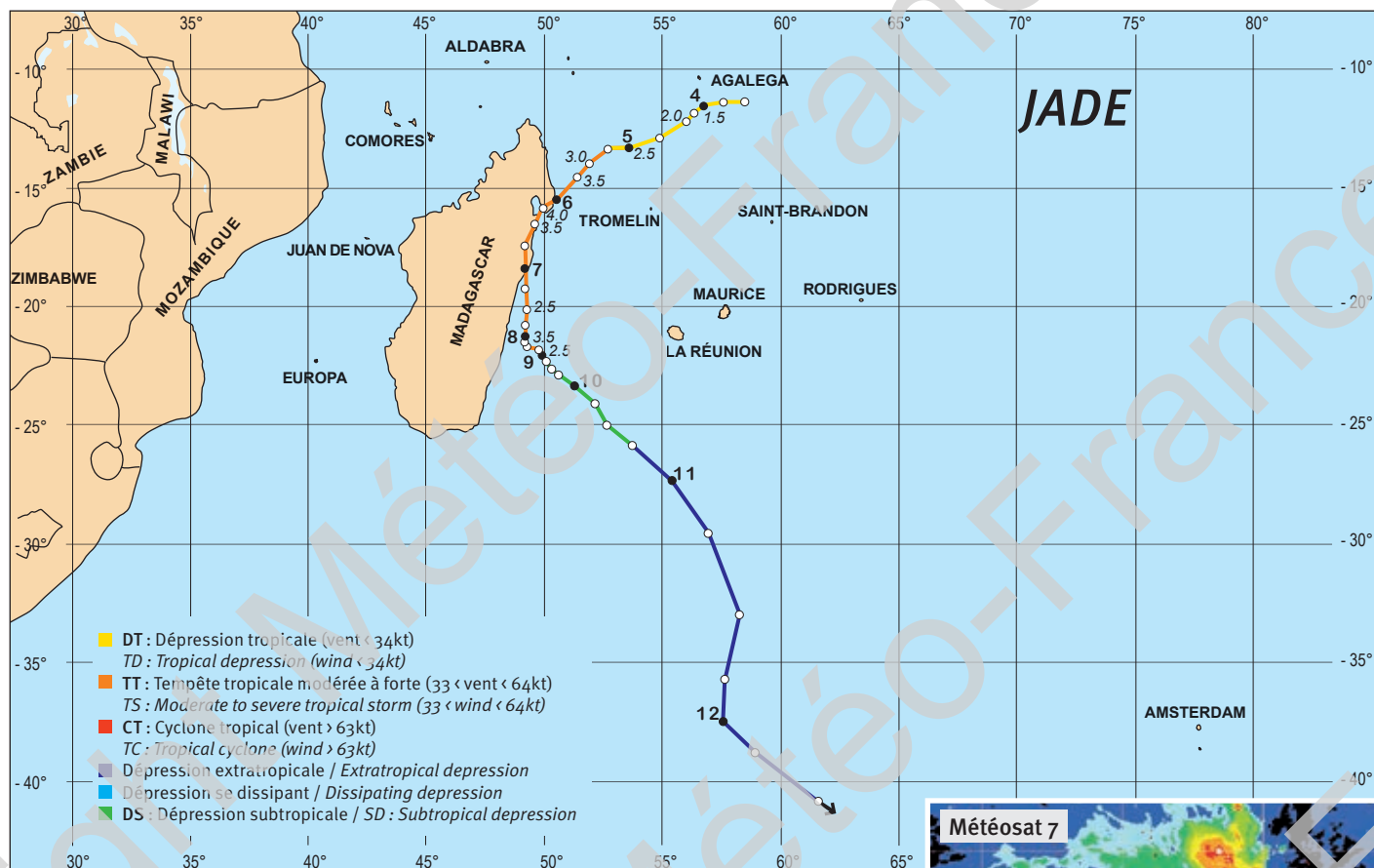


JADE's remnant depression, partially filled after its cruise over the eastern Malagasy coast, then transited to the west then the southwest of La Réunion, passing closest to the coasts of the island during the morning of 10 April (450 km to the southwest), before rapidly departing towards the Far South. A convective cloud band affected the island on 9 April and in a northerly to northwesterly flow which remained moist and unstable until the following day, bad weather logically concerned the regions of the northern half of the territory.

It was the northeastern part of the island which primarily underwent heavy rainfall, with two main rain intensity spikes, one happening at the end of the morning of 9 April, the other during the evening (up to 61 mm in 1h recorded – at Mencil). There was no comparison however between that rainfall and that undergone during the previous days by the Wild South, barely corresponding to return periods of 2 to 3 years at most. The cumulated amounts of

200 to 400 mm in 48h observed during that second rain event (398 mm at Bellevue Bras Panon, of which 310 fell in 24h and 231 mm in 12h), were nevertheless sufficient to spawn floods, as they happened on still saturated ground as a result of the previous rain episode of 5-6 April, which had already brought about almost equivalent rainfall amounts (355 mm at Bellevue Bras Panon for instance).

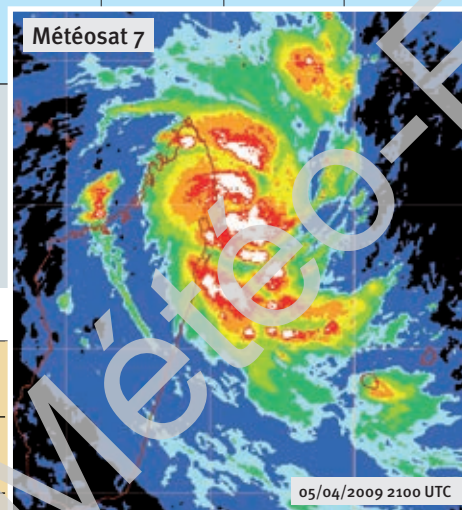
That very heavy rainfall generated by JADE was at the origin of many disorders in the Wild South and in the East : mudslides, floods, overflowing ravines, have in particular affected numerous houses. The road network also suffered and market gardening faced great havoc. The cost of damages was estimated at more than 15 million euros.



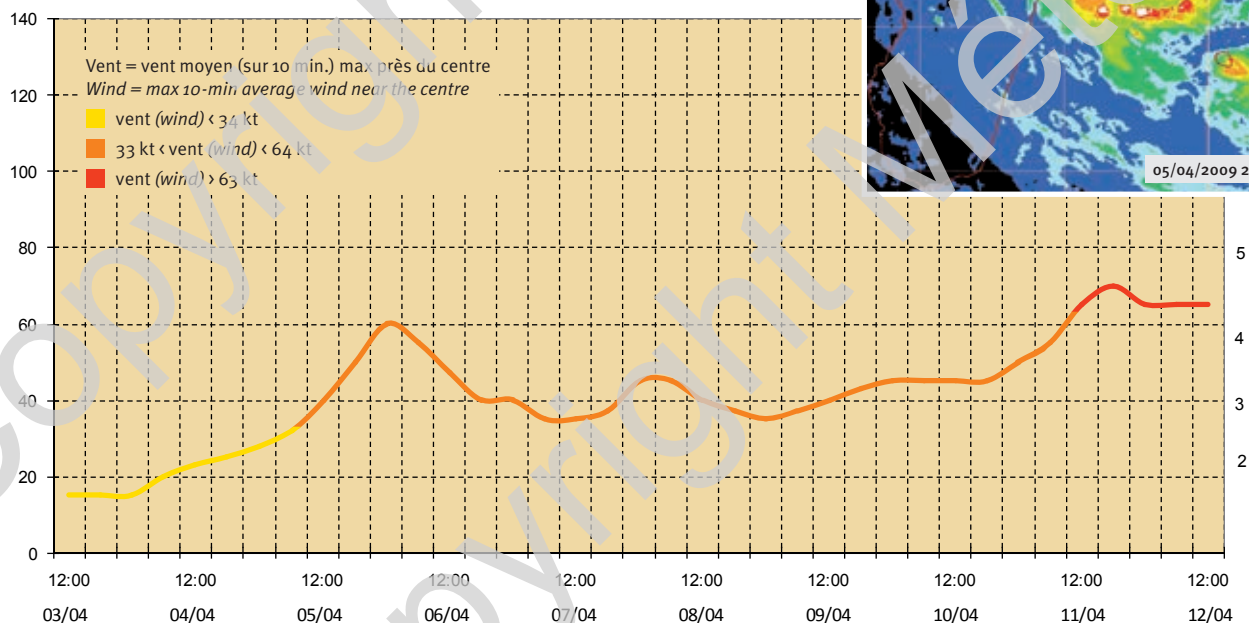
Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

JADE en phase finale d'approche de Madagascar. Sur cette image en infra-rouge renforcé, on devine vaguement une ébauche d'œil (par contre bien visible sur l'imagerie micro-onde – voir image page 71). En marge des bandes nuageuses directement rattachées à JADE, on notera la présence du petit amas orageux qui concerne la partie sud-est de La Réunion et y provoque alors d'intenses précipitations dans le Sud dit "sauvage".

JADE in final phase of approach towards Madagascar. On this enhanced infrared image, it is possible to vaguely notice an incipient eye feature (perfectly visible though on the microwave image – see page 71). On the fringe of the cloud bands directly connected to JADE, note the presence of a small thunderstorm cluster which affected the southeast side of La Réunion Island and dumped intense rainfall at the time over the so called « Wild » South.



JADE DU 03/04 AU 12/04/2009



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)

Informations

Satellites et techniques d'analyse

Interpretation of satellite imagery



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

Au CMRS de La Réunion, celle-ci reposait essentiellement, jusqu'à la fin des années 1990, sur l'exploitation des images des satellites défilant de la série américaine TIROS. Les données du satellite indien INSAT n'étant pas disponibles, le Sud-Ouest de l'océan Indien est, en effet, resté pendant longtemps le seul bassin cyclonique au monde dont la couverture par un satellite géostationnaire n'était pas assurée en totalité. Les données du satellite géostationnaire européen METEOSAT nominal, positionné au-dessus du Golfe de Guinée (METEOSAT 7 jusqu'en janvier 2004, puis METEOSAT 8 et 9, premiers satellites de seconde génération) sont bien acquises au Centre depuis fin 1996, grâce à une station primaire de réception (PDUS). Mais ces images en haute résolution, reçues en direct toutes les 30 min (15 min pour les METEOSAT de seconde génération), ne permettent qu'une surveillance de la zone située à l'ouest de 60 degrés Est (principalement du Canal de Mozambique). Les images des satellites géostationnaires japonais, de la série GMS, puis MTSAT-1R depuis la saison 2005-2006, permettent, en outre, de suivre l'évolution des perturbations évoluant sur la bordure est de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion.

La saison 1998-1999 a marqué un tournant. Suite au déplacement de METEOSAT 5, ancien satellite nominal METEOSAT en fin de vie mais encore fonctionnel, au-dessus de l'océan Indien, une couverture géostationnaire globale du bassin a pu être assurée en permanence (depuis mai 1998, des images en haute résolution, couvrant l'ensemble de l'océan Indien, sont acquises en direct au centre). METEOSAT 7 a remplacé METEOSAT 5 à la fin 2006.

Par ailleurs, le Centre dispose d'une station de réception et de traitement

haute résolution HRPT (High Resolution Picture Transmission), lui permettant de continuer d'exploiter, comme auparavant, les images des satellites défilant américains (NOAA 17 et NOAA 18 principalement), dont les orbites permettent de couvrir la majeure partie ou la totalité du bassin cyclonique, seules les perturbations présentes sur l'extrême Est de la zone de responsabilité pouvant demeurer temporairement hors du scope d'acquisition. Depuis mi-2007, sont venues se rajouter les images du premier satellite défilant européen METOP, opéré par EUMETSAT.

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

Pour ce qui est du suivi cyclonique, les données issues des sondeurs micro-ondes et radars diffusiomètres sont les plus utilisées. Travaillant dans des gammes de fréquences particulières, notamment hyperfréquences (ou "micro-ondes"), ces nouveaux capteurs ont renouvelé (révolutionné même, pourrions-nous dire) la vision des cyclones tropicaux, de par leur capacité à aller investiguer au cœur des phénomènes, y compris jusqu'au niveau des conditions de surface. Ainsi, lorsqu'elles sont disponibles, les observations de vents de surface (force et direction) dérivées des données diffusiométriques, apportent des renseignements objectifs précieux sur la structure des systèmes dépressionnaires tropicaux : position du centre (utile notamment dans le cas des systèmes naissants ou cisailés), taille de la circulation cyclonique (étendue du grand frais ou du coup de vent), indications sur les intensités et tendance d'intensité des phénomènes, à l'exception des cyclones matures (les vents les plus violents présents au cœur de ces systèmes ne pouvant être appréhendés par ce biais).

Au diffusiomètre du satellite européen ERS2 (European Remote Sensing Satellite), tombé définitivement en panne début 2001, a succédé le radar diffusiomètre SeaWinds embarqué à bord du satellite QuikScat (pour "Quick Scatterometer"), lancé par la NASA en 1999, qui a pallié plus que largement la défection d'ERS2. Le radar diffusiomètre SeaWinds possède en effet l'avantage, par rapport au diffusiomètre d'ERS, de disposer d'une double-fauchée (de 1800 km de large au total), assurant une couverture spatiale beaucoup plus étendue. Depuis 2007, un second radar diffusiomètre est entré en service : ASCAT embarqué à bord du satellite européen METOP. Sa couverture est toutefois plus réduite (avec deux fauchées non contiguës de 500 km de large chacune). Jusqu'à quatre orbites QuikScat et Ascat quotidiennes sur chaque système dépressionnaire peuvent ainsi être exploitées.

Les données micro-ondes SSM/I ou SSMIS (Special Sensor Microwave Imager / Sounder) issues des satellites défilant militaires américains (programme DMSP), ou issues des satellites Aqua, Coriolis (WindSat) et TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission), tout particulièrement l'imagerie associée, constituent une puissante source d'informations additionnelles sur la position du centre et l'intensité des systèmes dépressionnaires tropicaux. A ces données, il faut également rajouter les données micro-ondes AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) des satellites défilant NOAA ou METOP, sources de précieux éléments d'analyse, que ce soit en terme d'imagerie simple (AMSU-B) ou de produits dérivés (estimations d'intensité à partir des données AMSU-A).

TECHNIQUES D'ANALYSE SATELLITAIRE UTILISÉES :

Malgré l'arrivée de ces nouvelles générations de satellites et le développement de nouvelles techniques d'analyse très prometteuses et déjà intégrées dans le processus d'analyse, la principale méthode d'identification et d'analyse

des perturbations tropicales utilisée par le Centre demeure celle en vigueur depuis 1982, à savoir celle basée sur la technique développée, à partir de l'imagerie satellitaire classique, par Vernon F. Dvorak (cette technique remplaçant à cette date celle de Vincent J. Oliver utilisée précédemment).

On rappelle que la technique de DVORAK est basée sur l'étude des configurations et des caractéristiques des formations nuageuses associées aux systèmes dépressionnaires. Un certain nombre de schémas types ont été établis qui déterminent des types courants de développement des perturbations tropicales. Différents paramètres des formations nuageuses sont pris en compte ; par exemple l'importance des bandes nuageuses spiralées, le diamètre et l'aspect de la masse nuageuse centrale, le diamètre et le degré d'inclusion de l'œil, le degré de cisaillement, etc...

Cette analyse et la prise en compte de l'évolution passée de la perturbation, permettent de classer celle-ci sur une échelle d'intensité, dite de DVORAK, allant de 1.0 à 8.0 par pas de 0.5. Le nombre "CI" (pour "Current Intensity") ainsi attribué, permet d'apprécier indirectement la vitesse maximale du vent près du centre, ainsi que la pression minimale au niveau de la mer, via une échelle de correspondance empirique (non linéaire), qui permet d'affecter à un nombre CI déterminé, des valeurs correspondantes de vent maximal et de pression centrale associées au système dépressionnaire analysé (voir graphique et indications complémentaires page 79).

Due to the fact that aircraft reconnaissance is lacking and conventional observations are very scarce, satellite imagery remains the primary and paramount tool for ensuring cyclone watch and monitoring in the South-West Indian Ocean.

At RSMC La Reunion, imagery from the polar orbiting American satellites of TIROS series was, until the end of the 1990s, the main source of satellite data. But since May 1998 a global and permanent geostationary coverage of the whole basin has been provided thanks to METEOSAT 5, a former operational METEOSAT satellite displaced to longitude 63°East, providing thus high resolution images of the whole Indian Ocean every 30 minutes. By the end of 2006 METEOSAT 5 was replaced by METEOSAT 7.

Data from the operational European Geostationary satellite, positioned above the Gulf of Guinea (METEOSAT 7 until January 2004 and then METEOSAT 8 and 9 – the first satellites of second generation) are also received at the Centre since the end of 1996 via a primary reception station (PDUS). But this direct access to frequent high resolution pictures, only covers the area west of longitude 60°E (primarily the Mozambique Channel).

Additionally, to monitor the systems located near the eastern boundary of the Region, pictures from the Japanese geostationary satellites (GMS series and then MTSAT-1R since the cyclone season 2005-2006) are also received at RSMC La Reunion.

As in the past, the Centre has kept operating a HRPT (High Resolution Picture Transmission) Station that enables the acquisition of the imagery from the American polar orbiting satellites (NOAA 17 and NOAA 18 currently) whose orbits cover the major part of the basin although the disturbances located on the far eastern part of the area of responsibility may remain temporarily out of La Reunion's scope of acquisition. Since mid-2007 the imagery from METOP, the first polar orbiting satellite (operated by EUMETSAT), has come in addition.

Besides the classic imagery, numerous other sources of satellite data are available, namely those provided by research satellites of a new generation launched in the last decade. These data of different nature have now taken a major importance amongst the panel of operational tools for satellite analysis. Most of them are accessible owing to the Internet. For tropical cyclone monitoring the data derived from microwave sounders and scatterometer radars are the most useful. Working in specific ranges of frequencies, like microwave, these sensors have provided a renewed vision of tropical cyclones through their capability to investigate the inner structure of the meteors, even down to the surface.

This is namely the case for scatterometer data. When available their derived wind speeds and directions provide valuable objective information on a storm's structure : location of the low-level circulation centre (especially useful for incipient or sheared systems), size of the clockwise circulation (extent of the near gale or gale force winds), indications on the intensity and intensity trend of the system, except for mature cyclones (since this technology has not the ability to resolve

the highest wind speeds of the inner core). Since 2007 a second scatterometer radar has joined the SeaWinds scatterometer aboard NASA's satellite named QuikScat (launched mid-1999) and up to four daily-orbits can be acquired. The ASCAT aperture radar aboard the European satellite METOP has a more reduced spatial coverage (with its dual 500 km wide swaths) compared to QuikScat and its large 1800 km swath.

Microwave data and imagery from SSM/I or SSMIS (Special Sensor Microwave Imager / Sounder) aboard the American military polar orbiting satellites from the DMSP program, or from the Aqua, Coriolis (WindSat) and TRMM satellites (Tropical Rainfall Measurement Mission) provided extensive additional and invaluable information on the centre's location and intensity estimates of the tropical systems. AMSU data (Advanced Microwave Sounding Unit) from NOAA or METOP also greatly contribute to more accurate analyses through imagery (AMSU-B) or derived products (AMSU-A intensity estimates).

TECHNIQUES USED FOR SATELLITE INTERPRETATION :

Despite the advent of this new generation of satellites and the development of new techniques and algorithms already integrated in the analysis process, the main method of analysis and classification of tropical disturbances used by the Centre remains the technique developed by Vernon F. Dvorak.

It is worth remembering that the DVORAK technique is based on procedures for evaluating the satellite signature of the cloud features and their distribution around the tropical disturbances. Several cloud patterns have been considered which correspond to the most commonly observed intensification stages of tropical disturbances. Different cloud features are assessed, for example the size and length of the spiral bands, the diameter and shape of the central cloud cover, the diameter and the embedded distance of the eye, the degree of shear, etc...

This analysis compared to that of previous pictures makes it possible to classify the storm on an intensity scale (the DVORAK scale) after allocation of a current intensity number (CI) between 1.0 and 8.0. Indication of the maximum wind speed and minimum sea level pressure are then inferred from an empirical non-linear scale of correspondence with the CI number (see graphic and additional explanations page 79).

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 usité 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**

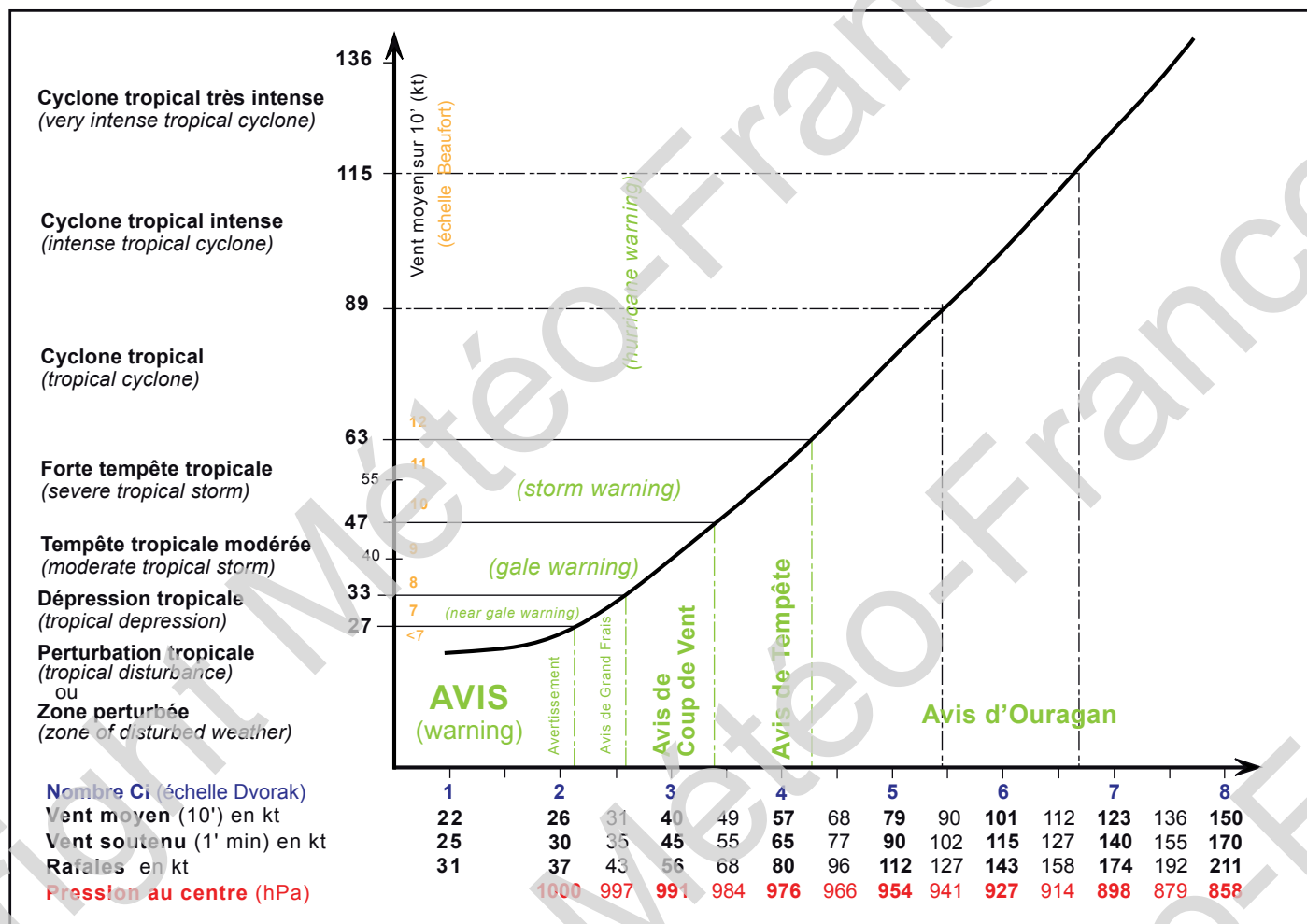
Synoptic scale low pressure area outside of the tropics or former tropical disturbance having lost its tropical characteristics.

- **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.

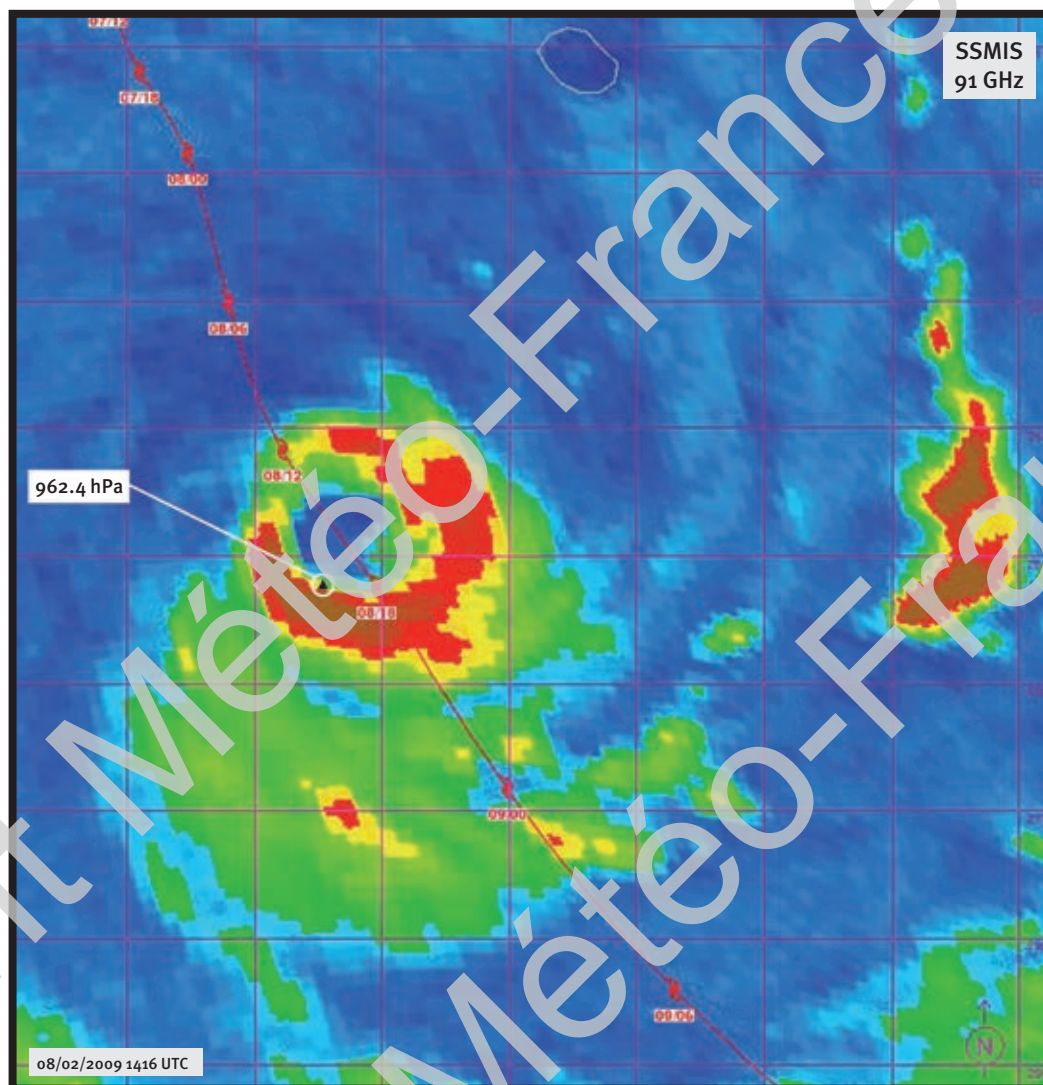
Ce changement d'échelle de correspondance a eu essentiellement pour conséquence un décalage des intensités Dvorak vers des valeurs de vents moyens sur 10 min plus élevées (ainsi un système d'intensité 4.5 sur l'échelle de Dvorak, antérieurement classé en forte tempête tropicale, est désormais classé 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.



Le centre du cyclone tropical GAELE passe à proximité d'une bouée dérivante lors de son évacuation au sud de La Réunion. Occasionnellement, il arrive que des rencontres entre systèmes dépressionnaires et bouées dérivantes du réseau PIBOI (Programme International de Bouées pour l'Océan Indien) se produisent, au gré du positionnement de ces bouées et du hasard des trajectoires. Les mesures de pression au cœur des cyclones obtenues à l'occasion de ces rencontres aléatoires, sont évidemment précieuses pour calibrer au mieux le minimum de pression centrale. Ce fut le cas en soirée du 8 février 2009, quand la bouée 14947 s'est retrouvée sous le mur de l'œil encore puissant du cyclone GAELE (comme en témoigne l'imagerie micro-onde ci-dessus). La bouée se situera même temporairement à l'intérieur du rayon des vents maximaux ensuite, en particulier au moment du minimum de pression mesuré deux heures plus tard (955,8 hPa relevé à 16 UTC).

Tropical cyclone GAELE when its centre passed nearby a drifting buoy while shoving off to the south of La Reunion. Occasionally, it happens that a storm meets a drifting buoy of the IBPIO network (International Buoy Programme for the Indian Ocean), depending on the rare coincidence of the storm's track with a buoy's location. The pressure record gathered within the inner core of a tropical cyclone on the occasion of such a random encounter is of course much valuable to help calibrate the central pressure at the time.

That situation occurred on the evening of 8 February 2009 when the buoy 14947 found itself underneath the still potent eyewall of tropical cyclone GAELE (as nicely portrayed on the microwave imagery above). The buoy thereafter became temporary situated inside the radius of maximum winds, in particular when it recorded its lowest pressure two hours later (with 955.8 hPa at 16 UTC).

Crédits photographiques / Picture credits :
METEO-FRANCE / EUMETSAT

Mais aussi / but also :

- Naval Research Laboratory's Marine Meteorology Division (courtesy Jeff Hawkins) et NASA TRMM Science Data Information System (TSDIS) :
p. 13, 14, 19, 23, 24, 27, 30, 33, 36, 40, 42, 44, 49, 50, 51, 52, 57, 59, 60, 65, 70, 71, 72, 80
- CIMSS : p. 58, 70
- NASA : 5, 40, 63, 72 (Modis), 72 (GSFC, courtesy Hal Pierce)
- BoM : p. 3
- RSS : p. 43
- Nesdis (courtesy Paul Chang) : p. 53

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.

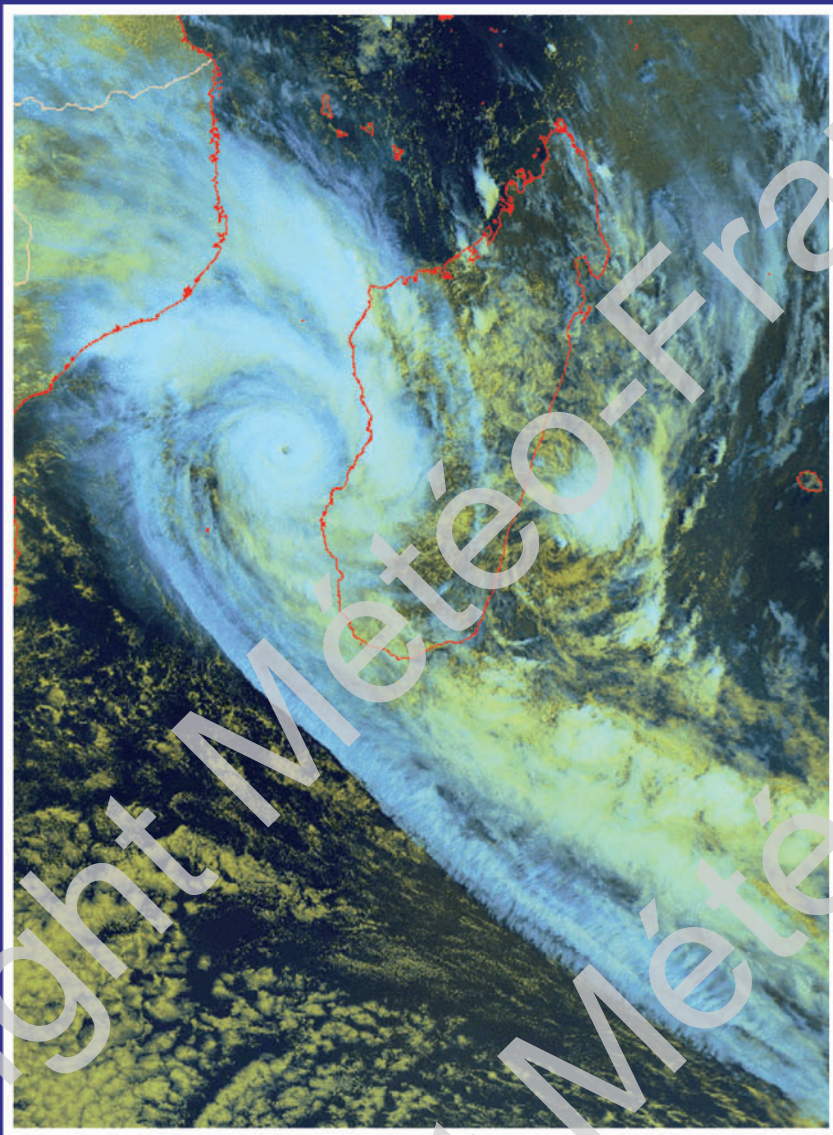
UKMO : *United Kingdom Meteorological Office*. Centre de la météorologie britannique.

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



Seulement deux cyclones tropicaux se sont développés lors de la saison cyclonique 2008-2009. Mais tous deux classés intenses à leur apogée, ils sont devenus des phénomènes d'autant plus dangereux qu'ils ont évolué sur la partie ouest du bassin, menaçant ainsi directement les terres habitées.

Le cyclone GAEL (1ère de couverture), a eu le «bon goût» d'adopter une trajectoire favorable, le faisant contourner les îles Mascareignes et éviter Madagascar, pour une influence finalement limitée et presque indolore.

Le cyclone FANELE (image ci-contre) n'a pas eu la même clémence, puisqu'il a frappé la côte ouest de la Grande Ile, mais heureusement dans une zone peu habitée.

Only two tropical cyclones developed during cyclone season 2008-2009. But both ranked at intense stage when at their maximum of intensity, they became dangerous phenomena, so much so that they evolved on the western part of the basin thus directly threatening the inhabited lands.

Tropical cyclone GAEL (outside front cover) was «kind» enough to follow a favourable trajectory that made it skirt round the Mascarene Islands and spare Madagascar, for an influence that eventually remained limited and almost painless.

Tropical cyclone FANELE (opposite picture) proved to be less merciful as it hit the west coast of Madagascar, but hopefully in a sparsely populated area.

Saison cyclonique Cyclone Season 2008-2009

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 par Bureau Veritas Certification

© Météo-France

Dépot légal novembre 2012



Imprimé sur du papier écologique,
sur les presses de l'imprimerie
de Météo-France D2C/IMP
labellisé Imprim' vert ®.



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance