

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*

**2012**  
**2013**



**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance

# Saison cyclonique 2012-2013

## Sud-Ouest de l'océan Indien

### *Cyclone season* *South-West Indian Ocean*

#### Sommaire Contents

|                                                                                           |      |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| Introduction .....                                                                        | Page | 2   |
| <i>Introduction</i>                                                                       |      |     |
| Liste et intensité maximale des perturbations .....                                       | Page | 4   |
| <i>List of tropical disturbances with their maximum intensities</i>                       |      |     |
| Cartographie des trajectoires .....                                                       | Page | 5   |
| <i>Map of trajectories</i>                                                                |      |     |
| Caractéristiques de la saison cyclonique et données statistiques .....                    | Page | 6   |
| <i>Main features of the cyclone season and statistical data</i>                           |      |     |
| Note explicative sur l'analyse individuelle des perturbations .....                       | Page | 9   |
| <i>Explanatory note on the individual analysis of disturbances</i>                        |      |     |
| Analyse chronologique des perturbations de la saison .....                                | Page | 10  |
| <i>Analysis of the disturbances of the season in chronological order</i>                  |      |     |
| Informations satellitaires et techniques d'analyse .....                                  | Page | 108 |
| <i>Interpretation of satellite imagery</i>                                                |      |     |
| Terminologie .....                                                                        | Page | 110 |
| <i>Terminology</i>                                                                        |      |     |
| Classification des systèmes dépressionnaires<br>dans le Sud-Ouest de l'océan Indien ..... | Page | 111 |
| <i>Classification of tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean</i>        |      |     |

Directeur de la publication :  
Emmanuel CLOPPET

Rédaction et réalisation :  
Philippe CAROFF

PAO : Jean-François BOYER

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

Catherine BIENTZ  
Géraldine BOUDART  
Thierry DUPONT  
Sébastien LANGLADE  
Hubert QUETELARD

# SAISON CYCLONIQUE

Sud-Ouest de l'océan Indien

---

***CYCLONE SEASON***

*South-West Indian Ocean*

***2012 - 2013***



**METEO FRANCE**

Toujours un temps d'avance





# Introduction

## La saison cyclonique 2012-2013 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

### *The 2012/2013 Cyclone season In the South-West Indian Ocean*

**L**a saison cyclonique 2012-2013 a connu une activité quasiment rigoureusement normale, que ce soit en terme de nombre de jours d'activité perturbée ou de nombre de jours cycloniques. Un seul élément s'écartant quelque peu de la norme est toutefois à souligner, à savoir le nombre élevé de cyclones s'étant développés, puisque sur les dix tempêtes tropicales formées, sept se sont transformées en cyclone tropical (dont trois cyclones intenses), une proportion remarquable, sans être exceptionnelle. Sur ces dix météoires, quatre ont eu une influence sur les terres habitées, mais seul le cyclone HARUNA a fait des victimes (à Madagascar).

L'activité perturbée s'est donc maintenue à un niveau soutenu cette saison, mais en recul cependant par rapport à l'exercice précédent 2011-2012. Si le total de dix tempêtes tropicales observées sur le bassin du Sud-Ouest de l'océan Indien situe cette saison 2012-2013 légèrement au-dessus de la moyenne climatologique (dont on rappelle qu'elle est de neuf), le nombre de jours d'activité perturbée, paramètre beaucoup plus représentatif de l'activité cyclonique réelle (car intégrant à la fois le nombre de phénomènes et leurs durées de vie cumulées) indique pour sa part une activité parfaitement dans la moyenne climatologique. Que ce soit pour le nombre de jours cumulés avec présence sur le bassin d'un système dépressionnaire au stade de tempête tropicale ou de cyclone, qui a été de 52 (quasiment équivalent donc à la moyenne climatologique fixée à 51 jours – pour une médiane établie à 48 jours) ou pour le nombre de jours cycloniques (i.e. avec présence sur le bassin d'un cyclone tropical), qui a correspondu exactement à la moyenne climatologique de référence (soit 19 jours), difficile, en effet, de faire plus proche des valeurs normales.

Eu égard au nombre élevé de cyclones développés cette saison, on aurait d'ailleurs pu s'attendre à dépasser cette valeur moyenne de 19 jours, mais cela n'a pas été le cas, en raison de durées de vie au stade de cyclone qui sont demeurées

limitées dans le temps (3 jours en général, pour un maximum de 4 pour le seul cyclone CLAUDIA). Et si la proportion de cyclones (sept sur dix tempêtes tropicales formées) a été notable (on rappelle que la norme est plutôt un taux d'environ 50% de tempêtes tropicales qui évoluent ensuite jusqu'au stade de cyclone tropical), on est, toutefois, loin d'un record en la matière. Ainsi lors de la saison 2001-2002 (celle du cyclone DINA notamment), sur onze tempêtes tropicales formées, neuf avaient atteint le stade de cyclone tropical mature (dont six cyclones intenses)...

Cette saison 2012-2013 a connu un début fracassant, avec un démarrage à la fois ultra-précoce, avant la mi-octobre (seulement cinq ou six saisons ayant connu leur première tempête tropicale encore plus tôt dans le calendrier depuis le début de l'ère satellitaire – i.e. depuis 1967), mais surtout avec une première cyclogenèse débouchant sur un événement totalement exceptionnel et inédit, ANAIS devenant le premier cyclone tropical intense observé au mois d'octobre dans l'océan Indien Sud. Ce phénomène a été d'autant plus hors norme, qu'il a in fine également constitué le cyclone le plus intense de la saison, ce qui n'est pas banal pour un système développé au tout début du printemps austral ! Autre fait, certes plus anecdotique, mais également inhabituel : cette cyclogenèse est intervenue sur l'Ouest du bassin (i.e. à l'ouest des Chagos), alors que les premiers phénomènes de la saison prennent souvent naissance plus à l'est (fréquemment au sud-ouest de Sumatra, entre 80 et 100°Est).

Il a ensuite fallu attendre la fin du mois de novembre pour voir le second système mature de la saison se développer (là, rien d'anormal par contre). Puis les systèmes dépressionnaires se sont succédé, sans d'ailleurs aucun "chevauchement" temporel, c'est à signaler, puisqu'à aucun moment il n'y a eu coexistence sur le bassin de deux systèmes dépressionnaires à un stade d'intensité significatif (seule la phase de pré-genèse d'HARUNA ayant coïncidé avec la fin de vie de GINO). Mais, fait remarquable et assez incroyable,

aucun n'a atteint l'intensité maximale à laquelle avait culminé ANAIS dès le 14 octobre, malgré le développement de six nouveaux cyclones, dont deux autres classés intenses...

Le pic d'activité est classiquement intervenu au cœur de la saison, en janvier-février, mois qui ont concentré cinq des dix phénomènes de l'exercice. S'en est ensuite suivie une période de près de cinq semaines sans aucune formation dépressionnaire, d'où un mois de mars vierge de tout système répertorié, un cas de figure qui ne s'était pas produit depuis près de trente ans, puisque la fois précédente remontait à la saison 1983-1984. La saison a pris fin tardivement, vers la mi-mai, avec la cyclolyse de la tempête tropicale JAMALA ; en terme de date de fin de saison, cela situe cet exercice après le dernier quintile. S'étant au total étalée sur plus de six mois, la saison 2012-2013 aura ainsi été une des plus longues de l'histoire contemporaine.

Les cyclogenèses ont été issues de deux zones dominantes : l'extrême Est du bassin, avec la moitié des systèmes dépressionnaires (cinq donc) qui a eu son point d'origine situé entre 80 et 90°Est, et la zone (large) autour de l'archipel des Chagos (pour quatre d'entre eux), un seul système ayant concerné le Canal de Mozambique (HARUNA). Le centre de gravité des zones de formation a donc été plutôt décalé sur la partie orientale du bassin, et comme les trajectoires zonales n'ont pas été dominantes, en particulier pour les phénomènes cycloniques matures, cela a eu pour conséquence de moins exposer au risque cyclonique les terres habitées, concentrées sur l'Ouest du bassin, et plus particulièrement Madagascar.

De fait, aucun des cinq systèmes nés à l'est de 80°Est ne s'est approché, ni de près ni de loin, des terres, tandis que ceux issus de la zone des Chagos sont descendus vers le sud avant d'atteindre la Grande Ile, ne concernant ainsi que les îles Mascareignes et avant-postes associés (archipels d'Agalega et de Saint-



Brandon, ainsi que l'îlot de Tromelin). La côte orientale de Madagascar, fréquemment touchée, a ainsi été épargnée cette saison, ce qui n'était pas arrivé depuis la saison 2004-2005 (depuis huit ans donc). Et la Grande Ile n'a donc eu à souffrir que du seul HARUNA, unique phénomène formé dans le Canal de Mozambique, qui a frappé la côte sud-ouest de Madagascar au stade de cyclone tropical. L'Afrique australe, et le Mozambique en particulier, qui avaient été très sollicités lors de l'exercice précédent, ont, quant à eux, connu une saison extrêmement calme cette fois, sans le moindre phénomène significatif venu les concerner.

*The activity of cyclone season 2012-2013 was practically in perfect accordance with the norm, whether in terms of number of days of disturbed activity or number of cyclone days. Only one element somewhat departing from the norm must be underlined however, namely the high number of cyclones that developed, since out of the ten tropical storms which formed, seven of them evolved into mature tropical cyclones (of which three became intense cyclones). A proportion that was remarkable, without being exceptional. Out of the ten meteors, four of them had an influence on the inhabited lands, but only cyclone HARUNA claimed a number of victims (in Madagascar). Therefore the disturbed activity was maintained at a sustained level during that season, although having been slightly reduced compared to the 2011-2012 previous season. If the final number of ten storms observed over the South-West Indian Ocean basin situates that 2012-2013 season slightly above the climatological average (which corresponds to 9 storms as a reminder), the number of days of disturbed activity, a much more representative parameter of the actual cyclone activity (as it aggregates both the number of phenomena and the cumulated days of their respective life-cycles), indicates an activity that is perfectly in keeping with the climatological average. Whether it is for the number of cumulated days with the presence over the basin of a system at the stage of tropical storm or of tropical cyclone, which was 52 (therefore almost equivalent to the climatological average set at 51 days – for a median set at 48 days) or for the number of cyclone days (i.e. with the presence over the basin of a mature tropical cyclone – with hurricane force winds), which precisely corresponded*

*to the reference climatological average (that is 19 days), it is indeed difficult to be closer to the normal figures.*

*In view of the high number of cyclones that developed that season, one might have expected that average value of 19 cyclone days to be exceeded, but such was not the case, because of the duration of the tropical cyclone stages which remained limited in time (3 days in general, for a maximum of 4 for tropical cyclone CLAUDIA alone). And if the proportion of cyclones (seven out of ten tropical storms that formed) was noteworthy (remember that the norm is rather a rate of about 50% of tropical storms that reach then the stage of tropical cyclones), one is however far from a record. Thus, during the 2001-2002 season (that of tropical cyclone DINA in particular), out of the eleven tropical storms that had formed, nine had reached the stage of mature tropical cyclone (of which six became intense cyclones)...*

*The 2012-2013 season started in a staggering way, as it kicked off extremely early, before mid October (knowing that only five or six seasons have had their first tropical storm budding sooner in the calendar since the beginning of the satellite era – i.e. since 1967), but above all with a first cyclogenesis that resulted in a totally exceptional and unprecedented event, ANAIS becoming the first intense tropical cyclone observed in October in the South Indian Ocean. That phenomenon was all the more out-of-norm as it was eventually the most intense cyclone of the season, which was out of the ordinary for a system that developed at the very beginning of the austral spring! One other thing, more anecdotal to be sure, but also unusual : that cyclogenesis occurred over the West of the basin (i.e. to the west of the Chagos Archipelago), whereas the first phenomena of the season often form farther to the east (frequently to the southwest of Sumatra, between longitudes 80° and 100° East).*

*It was not until the end of November that the second mature system of the season developed (there was nothing abnormal about that on the other hand). Then the storms followed one another, without overlapping in time, which is worth noting, since there was no coexistence at any time over the basin of two systems having reached a significant intensity (only HARUNA's pre-genesis phase coincided with the end of GINO's life-cycle). But it is remarkable and rather incredible that none should reach the maximum of intensity at which ANAIS had peaked as early as 14 October, in spite of the development of six*

*new cyclones, of which two others were ranked as intense...*

*The activity peak took place in a classic way in the heart of the season, in the months of January and February, which concentrated five of the ten phenomena of the term. Then followed a period of almost five weeks without any system forming, hence a month of March unaffected by any recorded system whatsoever, a situation that had not occurred for almost thirty years, since the similar previous case dated back to the 1983-1984 season. The season came to an end lately, around mid May, with the cyclolysis of tropical storm JAMALA; in terms of date of season's end, the fact ranks that season after the last quintile. As it was spread all in all over more than six months, the 2012-2013 season has thus been one of the longest in contemporary history. The cyclogenesis stemmed from two prevailing zones: the far East of the basin, with half of the systems (five therefore) that originated from an area situated between longitudes 80° and 90° East, and the (wide) zone around the Chagos Archipelago (for four of them). Only one system concerned the Mozambique Channel (HARUNA). The centre of gravity of the formation areas was therefore somewhat displaced to the eastern part of the basin, and as the zonal tracks did not prevail, especially for the mature cyclone phenomena, it resulted in the inhabited lands concentrated in the western portion of the basin, being less exposed to the cyclone hazards, and more particularly so for Madagascar. As a matter of fact, none of the systems that formed to the east of longitude 80° East approached the lands either from near or far, whereas those coming from the area of the Chagos headed south before reaching the Great Island, and thus concerned only the Mascarene Islands and the related outposts (the Agalega and Saint-Brandon Archipelagos, and the Islet of Tromelin). The eastern coast of Madagascar, frequently impacted, was thus spared during that season, which had not happened since the 2004-2005 season (for eight years then). And the Great Island only suffered from HARUNA's passage, the sole phenomenon that formed in the Mozambique Channel and which hit the southwestern seaboard of Madagascar at the tropical cyclone stage. Southern Africa, and the Mozambique in particular, which had been affected several times during the previous season, enjoyed an extremely quiet season this time, without being concerned by the slightest significant phenomenon.*

# Perturbations

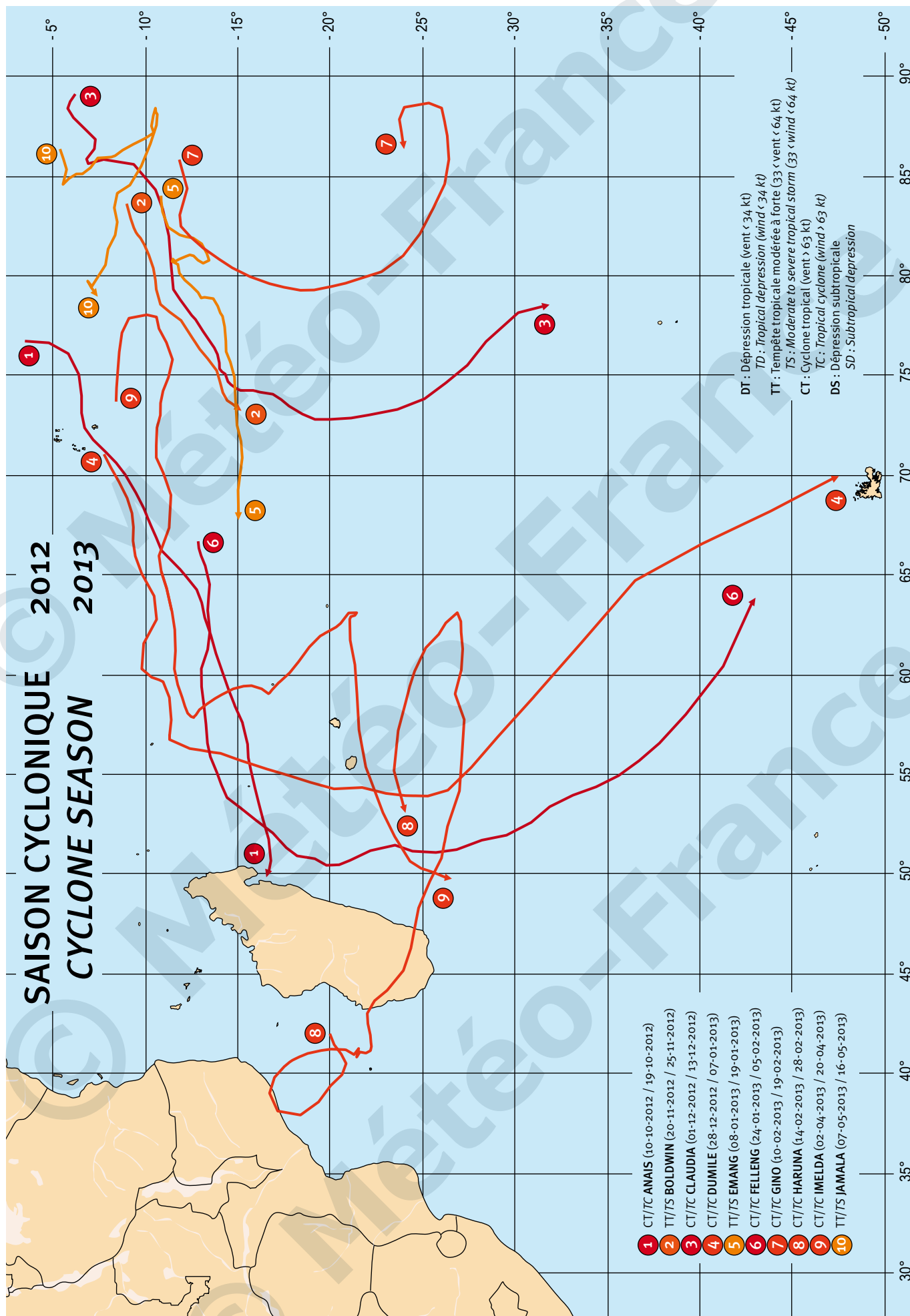
## Analysées dans l'ordre chronologique

### *Analysed disturbances in chronological order*

- |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <b>01. ANAIS :</b><br>Cyclone tropical intense<br>(10 au 19 octobre 2012)          |    | <b>01. ANAIS :</b><br><i>Intense tropical cyclone<br/>(10–19 October 2012)</i>           |
|    | <b>02. BOLDWIN :</b><br>Forte tempête tropicale<br>(20 au 25 novembre 2012)        |    | <b>02. BOLDWIN :</b><br><i>Severe tropical storm<br/>(20–25 November 2012)</i>           |
|    | <b>03. CLAUDIA :</b><br>Cyclone tropical intense<br>(1 au 13 décembre 2012)        |    | <b>03. CLAUDIA :</b><br><i>Intense tropical cyclone<br/>(1–13 December 2012)</i>         |
|    | <b>04. DUMILE :</b><br>Cyclone tropical<br>(28 décembre 2012 au 7 janvier 2013)    |    | <b>04. DUMILE :</b><br><i>Tropical cyclone<br/>(28 December 2012–7 January 2013)</i>     |
|   | <b>05. EMANG :</b><br>Tempête tropicale modérée<br>(8 au 19 janvier 2013)          |   | <b>05. EMANG :</b><br><i>Moderate tropical storm<br/>(8–19 January 2013)</i>             |
|  | <b>06. FELLENG :</b><br>Cyclone tropical intense<br>(24 janvier au 5 février 2013) |  | <b>06. FELLENG :</b><br><i>Intense tropical cyclone<br/>(24 January–5 February 2013)</i> |
|  | <b>07. GINO :</b><br>Cyclone tropical<br>(10 au 19 février 2013)                   |  | <b>07. GINO :</b><br><i>Tropical cyclone<br/>(10–19 February 2013)</i>                   |
|  | <b>08. HARUNA :</b><br>Cyclone tropical<br>(14 au 28 février 2013)                 |  | <b>08. HARUNA :</b><br><i>Tropical cyclone<br/>(14–28 February 2013)</i>                 |
|  | <b>09. IMELDA :</b><br>Cyclone tropical<br>(2 au 20 avril 2013)                    |  | <b>09. IMELDA :</b><br><i>Tropical cyclone<br/>(2–20 April 2013)</i>                     |
|  | <b>10. JAMALA :</b><br>Tempête tropicale modérée<br>(7 au 16 mai 2013)             |  | <b>10. JAMALA :</b><br><i>Moderate tropical storm<br/>(7–16 May 2013)</i>                |

| NUMÉRO D'ORDRE<br><i>Ranking number</i> | SYSTÈME<br><i>System</i> | TYPE<br><i>Type</i> | VENT MAXIMAL MOYEN SUR 10 MIN (NŒUDS) ET DATE<br><i>Max 10-min average Wind (knots) and date</i> | PRESSION MER MINIMALE (hPa)<br><i>Minimun sea-level pressure (hPa)</i> |
|-----------------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1                                       | ANAIS                    | CT/TC               | 100 (14/10/2012)                                                                                 | 945                                                                    |
| 2                                       | BOLDWIN                  | TT/TS               | 57 (24/11/2012)                                                                                  | 985                                                                    |
| 3                                       | CLAUDIA                  | CT/TC               | 95 (09/12/2012)                                                                                  | 940                                                                    |
| 4                                       | DUMILE                   | CT/TC               | 70 (03/01/2013)                                                                                  | 970                                                                    |
| 5                                       | EMANG                    | TT/TS               | 35 (12/01/2013)                                                                                  | 994                                                                    |
| 6                                       | FELLENG                  | CT/TC               | 90 (30/01/2013)                                                                                  | 935                                                                    |
| 7                                       | GINO                     | CT/TC               | 75 (13/02/2013)                                                                                  | 953                                                                    |
| 8                                       | HARUNA                   | CT/TC               | 80 (20/02/2013)                                                                                  | 960                                                                    |
| 9                                       | IMELDA                   | CT/TC               | 80 (14/04/2013)                                                                                  | 960                                                                    |
| 10                                      | JAMALA                   | TT/TS               | 40 (09/05/2013)                                                                                  | 992                                                                    |

# SAISON CYCLONIQUE 2012 CYCLONE SEASON 2013





# Caractéristiques

de la saison 2012-2013 dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

*Statistical data relative to the 2012-2013 season in the South-West Indian Ocean*

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

| TYPE                         | NOM NAME | JUL | AOU | SEPT | OCT | NOV | DEC | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | DURÉE LIFETIME (CI ≥ 2.5) |
|------------------------------|----------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
| CT/TC                        | ANAI     |     |     |      | ■   |     |     |     |     |     |     |     |     | 6                         |
| TT/TS                        | BOLDWIN  |     |     |      |     | ■   |     |     |     |     |     |     |     | 3                         |
| TT/TS                        | CLAUDIA  |     |     |      |     | ■   |     |     |     |     |     |     |     | 7                         |
| CT/TC                        | DUMILE   |     |     |      |     |     | ■   |     |     |     |     |     |     | 5                         |
| TT/TS                        | EMANG    |     |     |      |     |     |     | ■   |     |     |     |     |     | 4                         |
| CT/TC                        | FELLENG  |     |     |      |     |     |     | ■   |     |     |     |     |     | 8                         |
| CT/TC                        | GINO     |     |     |      |     |     |     |     | ■   |     |     |     |     | 5                         |
| CT/TC                        | HARUNA   |     |     |      |     |     |     |     | ■   |     |     |     |     | 7                         |
| CT/TC                        | IMELDA   |     |     |      |     |     |     |     |     | ■   |     |     |     | 9                         |
| CT/TC                        | JAMALA   |     |     |      |     |     |     |     |     |     | ■   |     |     | 3                         |
| MOYENNE (AVERAGE LIFETIME) = |          |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 5.7                       |

## 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     | 8 (9)   | 6 (4)   | 2     | 0     |
| NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (calendaires) (Number of days with cyclone activity)                                            | 66 (68) | 56     | 39 (42) | 14 (13) | 4     | 0     |
| NOMBRE DE JOURS D'ACTIVITÉ CYCLONIQUE (cumulés pour l'ensemble des perturbations) (Cumulated number of days for all the disturbances) | 66 (75) | 56     | 39 (48) | 14 (13) | 4     | 0     |

\* Données relatives aux seules perturbations analysées

\* Data valid for analysed disturbances only

NOTA : • CI = Intensité sur l'échelle de DVORAK (page 111) (Intensity on DVORAK scale)

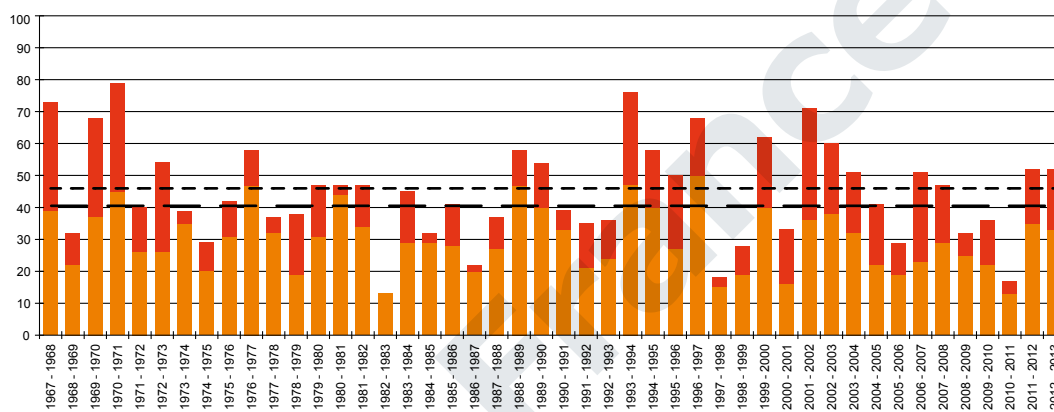
- CI = 2.5 : dépression tropicale (tropical depression)
- CI = 3.0 à 4.0 : tempête tropicale (tropical storm)
- CI = 4.5 à 5.0 : cyclone tropical (tropical cyclone)
- CI = 5.5 à 6.5 : cyclone tropical intense (intense tropical cyclone)
- CI = 7.0 et plus : cyclone tropical très intense (very intense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

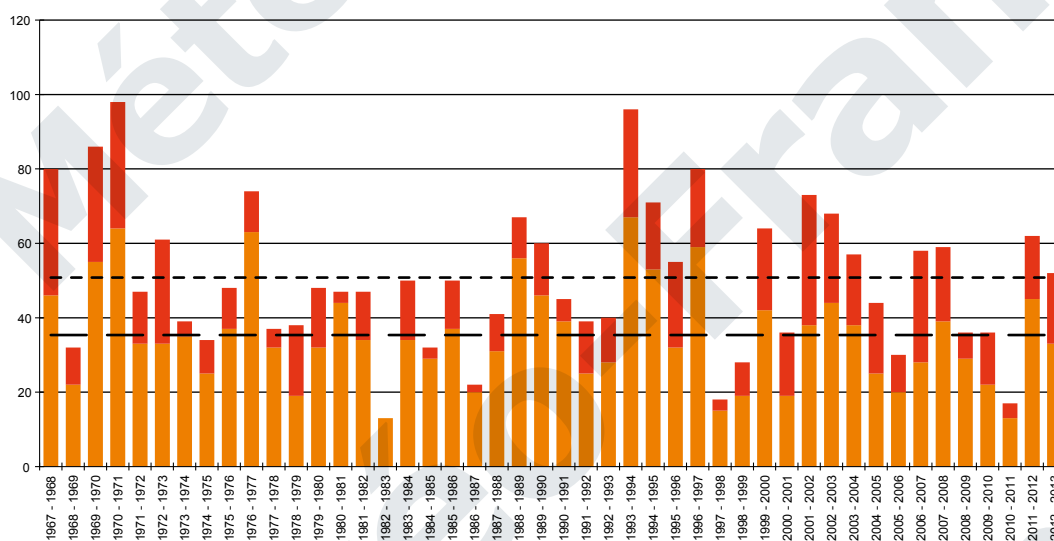
N.B. : les correspondances entre intensités Dvorak et classification des systèmes dépressionnaires tropicaux ont été modifiées à compter de la saison 1999-2000 (voir explications page 111).

Starting from the season 1999-2000, the classification of tropical systems regarding Dvorak intensities has been modified (see explanations page 111).



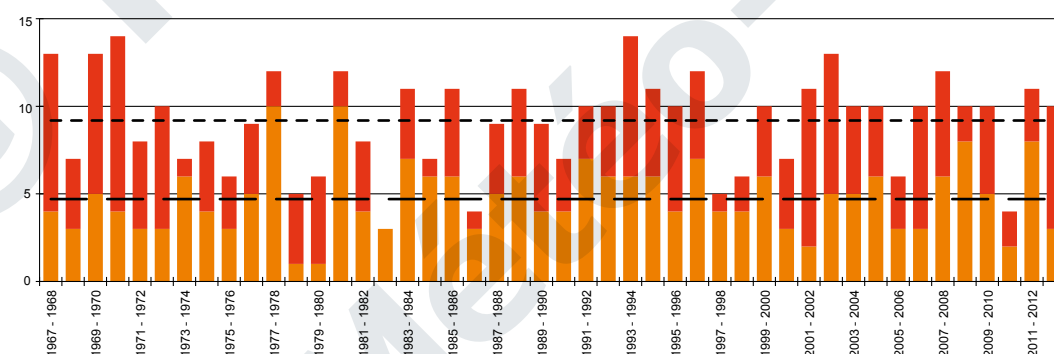
Variation interannuelle du nombre de jours avec activité cyclonique sur le bassin Sud-Ouest de l'océan Indien et moyenne.  
Annual variation in the number of days with cyclonic activity in the South-West Indian Ocean basin and average.

■ 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) = 6
- Centre bassin (Central area) (de 60°E à 70°E) = 2
- Nord-Ouest bassin (Northwestern area) (de 50°E à 60°E) = 1
- Canal de MOZAMBIQUE (MOZAMBIQUE Channel) = 1

Cyclolyse (Cydolysis)

- Domaine polaire (extratropical domain) = 3
- Domaine tropical (tropical domain) = 7  
dont [ Sur terre (overland) = 1  
(among which) [ Sur mer (oversea) = 6

### 4. QUALITÉ DES PRÉVISIONS DE TRAJECTOIRES (VERIFICATION OF TRACK FORECASTS)

| ÉCHÉANCE (heures)<br>FORECAST PERIOD (hours) | 12h | 24h | 48h | 72h | 96h | 120h |
|----------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| ÉCART MOYEN (km)<br>AVERAGE ERROR (km)       | 58  | 82  | 143 | 212 | 288 | 375  |
| NOMBRE DE PREVISIONS<br>NUMBER OF FORECASTS  | 235 | 231 | 217 | 192 | 166 | 133  |

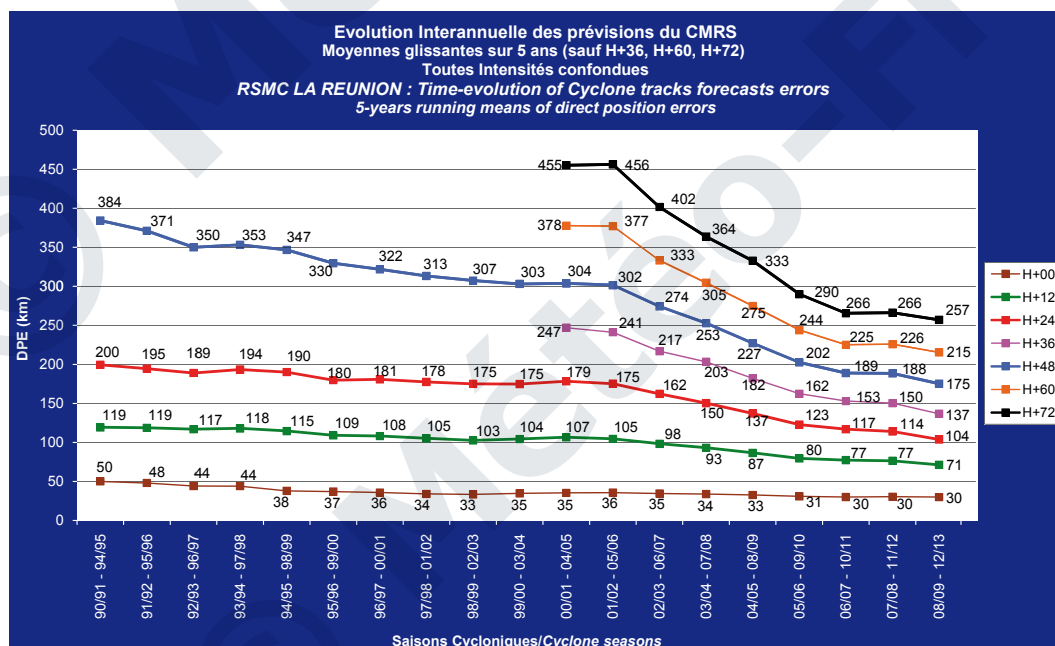
#### ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES PRÉVISIONS DE TRAJECTOIRES (TIME-EVOLUTION OF TRACK FORECASTS ERRORS) :

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 sont des moyennes glissantes sur cinq ans, par échéance, permettant de lisser la variabilité inter-annuelle du degré de difficulté de prévision des saisons individuelles. Les chiffres figurant au-dessus des courbes indiquent les valeurs correspondantes des erreurs moyennes glissantes sur les cinq saisons précédentes.

Depuis le bond spectaculaire dans la qualité des prévisions de trajectoires du CMRS intervenu lors de la saison 2006-2007, les performances ont continué de progresser, mais plus lentement, avant un nouveau gain important observé cette saison 2012-2013, pour laquelle les erreurs de prévision sont descendues pour la première fois sous la barre des 100 km à 24h d'échéance et sous le seuil des 250 km à 72h d'échéance.

The graphic below presents the time-evolution of the RSMC La Reunion track forecasts errors since the onset of such forecasts' dissemination. The direct position errors are displayed by lead times and are 5-years running means enabling to smooth the inter-annual variability of the level of difficulty of the track forecasts of each individual season. The figures indicated above the different curves refer to the corresponding running mean errors over the 5 preceding seasons.

Since the spectacular improvement in the quality of the official track forecasts issued by RSMC La Reunion that took place during the 2006-2007 cyclone season, the performances have kept on improving, but more slowly, before a new big step forward observed during this 2012-2013 season for which the track forecasts errors were, for the first time, less than the 100 km mark at 24h lead time and below the 250 km threshold for the 72h forecasts.



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 2012-2013)**  
**NUMBER OF BULLETINS ISSUED BY RSMC/LA REUNION (CYCLONE SEASON 2012/2013)**

| N° | PERTURBATIONS<br>TROPICALES<br><i>TROPICAL<br/>DISTURBANCES</i> | Bulletins Marine Spéciaux - <i>Special Marine Bulletins</i> |                                                 |                                             |                                         |                                            |            | BULLETINS<br>CMRS<br>RSMC<br>BULLETINS | AVIS<br>CONSULTATIFS<br>ICAO<br>ADVISORIES | BEST<br>TRACKS |
|----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
|    |                                                                 | AVERTISSEMENTS<br>WARNINGS                                  | AVIS DE<br>GRAND FRAIS<br>NEAR GALE<br>WARNINGS | AVIS DE<br>COUP DE VENT<br>GALE<br>WARNINGS | AVIS DE<br>TEMPÊTE<br>STORM<br>WARNINGS | AVIS<br>D'OURAGAN<br>HURRICANE<br>WARNINGS | TOTAL      |                                        |                                            |                |
| 1  | ANAIS                                                           | 3                                                           | 5                                               | 6                                           | 3                                       | 9                                          | 26         | 26                                     | 18                                         | 1              |
| 2  | 02-2012/2013                                                    | 3                                                           |                                                 |                                             |                                         |                                            | 3          | 3                                      |                                            |                |
| 3  | BOLDWIN                                                         | 2                                                           | 1                                               | 3                                           | 4                                       |                                            | 10         | 10                                     | 7                                          | 1              |
| 4  | CLAUDIA                                                         | 1                                                           | 3                                               | 7                                           | 4                                       | 14                                         | 29         | 29                                     | 25                                         | 1              |
| 5  | DUMILE                                                          | 3                                                           | 6                                               | 2                                           | 9                                       | 5                                          | 25         | 25                                     | 16                                         | 1              |
| 6  | EMANG                                                           | 3                                                           | 7                                               | 4                                           |                                         |                                            | 14         | 14                                     | 4                                          | 1              |
| 7  | FELLENG                                                         | 2                                                           | 6                                               | 4                                           | 9                                       | 13                                         | 34         | 34                                     | 25                                         | 1              |
| 8  | GINO                                                            |                                                             | 1                                               | 5                                           | 5                                       | 7                                          | 18         | 18                                     | 17                                         | 1              |
| 9  | HARUNA                                                          | 4                                                           | 5                                               | 5                                           | 3                                       | 8                                          | 25         | 25                                     | 16                                         | 1              |
| 10 | IMELDA                                                          | 9                                                           | 6                                               | 8                                           | 11                                      | 9                                          | 43         | 43                                     | 28                                         | 1              |
| 11 | JAMALA                                                          | 1                                                           | 4                                               | 4                                           |                                         |                                            | 9          | 9                                      | 3                                          | 1              |
|    | <b>TOTAUX<br/>(TOTALS)</b>                                      | <b>31</b>                                                   | <b>44</b>                                       | <b>48</b>                                   | <b>48</b>                               | <b>65</b>                                  | <b>236</b> | <b>236</b>                             | <b>159</b>                                 | <b>10</b>      |

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

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

#### NOTE EXPLICATIVE

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

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

1 - une carte de la trajectoire :

- afin de mieux mettre en valeur chacune des trajectoires, le fond de 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.

# Anaïs

## Cyclone Tropical Intense

du 10 au 19 octobre 2012

*Intense Tropical Cyclone "Anaïs" (10-19 October 2012)*



### FORMATION



La saison cyclonique 2012-2013 a connu un démarrage en fanfare, débutant de manière extrêmement précoce par le développement aussi improbable que spectaculaire d'un phénomène exceptionnel : un cyclone tropical, qui plus est intense, avant la mi-octobre.

Pourtant, rien ne pouvait laisser présager une telle éventualité. Alors que l'on serait a priori en droit de supposer que pour aboutir à un tel événement, il fallait des circonstances et une conjonction exceptionnelles, sortant de la norme climatologique, rien de tel. De fait, le contexte environnemental qui allait servir de substrat permettant à la première cyclogenèse de la saison de prendre racine, puis de produire un système dépressionnaire hors norme, n'avait à la base rien de particulièrement favorable sur le papier.

En effet, en cette fin de première décennie d'octobre, c'est la pleine phase sèche de l'oscillation de Madden-Julian (MJO en acronyme anglais) qui s'attarde encore sur le Centre de l'océan Indien. Et comme aucune autre onde tropicale (Onde équatoriale de Rossby ou onde de Kelvin) n'est alors pré-sente pour venir contrebalancer l'influence de la MJO, le contexte ambiant apparaît plus enclin à inhiber une activité convective qu'à la soutenir et donc ne prédispose a priori pas à la survenue d'une cyclogenèse.

Malgré cela, de la convection est belle et bien présente, en ce 9 octobre 2012, entre les archipels des Maldives et des Chagos, certes pas en quantité immodérée, mais de manière tout de même notable pour un début octobre. La configuration nuageuse globale, avec quelques courbures affichées qui

confèrent une tournure tourbillonnaire indéniable à l'ensemble, ainsi que les observations disponibles alentours (de Gan et de Diego Garcia en particulier), donnent à penser qu'une circulation dépressionnaire fermée est peut-être déjà en train de s'isoler au sein du talweg proche-équatorial. Cela devient plus net le lendemain, quand un centre de circulation de basses couches se met en évidence non loin d'une bouée dérivante, dont les observations permettent de valider un minimum de pression à 1007 hPa.

L'activité convective et l'organisation du système nuageux sont pourtant en recul par rapport à la veille, mais retrouvent bien vite un second souffle, dès le lendemain 11 octobre. La fauchée Ascat du matin confirme l'existence de la petite circulation dépressionnaire fermée et permet de préciser la structure du champ de vents : un flux de nord-ouest trans-équatorial issu des Maldives vient converger avec l'alizé présent au sud des Chagos.

Les modèles numériques s'accordent à creuser lentement cette dépression naissante et envisagent une cyclogenèse à échéance de 36 à 48h. Cela va aller en fait nettement plus vite.

Au petit matin du 12, le système a déjà changé de stature et de statut : l'organisation tourbillonnaire s'est spectaculairement affirmée, avec de la convection s'enroulant désormais résolument autour d'un noyau central qui vient de se constituer juste après le passage au plus près de l'atoll de Diego Garcia, non loin duquel le minimum dépressionnaire a transité en fin de nuit (à moins de 50 km au nord). Au vu des pressions observées par la station de Diego Garcia, le creusement est certes encore marginal, mais le processus de cyclogenèse est

désormais bien lancé et la très prometteuse configuration nuageuse affichée ne laisse planer aucun doute sur son aboutissement imminent.

Dès la mi-journée, considérant à la fois l'évolution observée sur l'imagerie satellitaire et le champ de vents dérivé des données issues du radar diffusiométrique d'Oceansat, le météore est classé en dépression tropicale. Et les conditions apparaissent propices à la poursuite du développement, avec un environnement de plus en plus favorable : la divergence d'altitude est rayonnante (du côté polaire en particulier), tandis que la contrainte cisailée d'est résiduelle ne peut que se relâcher, avec la trajectoire établie sud-ouest à ouest-sud-ouest, qui va continuer de rapprocher le météore de l'axe de la dorsale d'altitude en bordure nord-ouest de laquelle il évolue encore pour le moment.

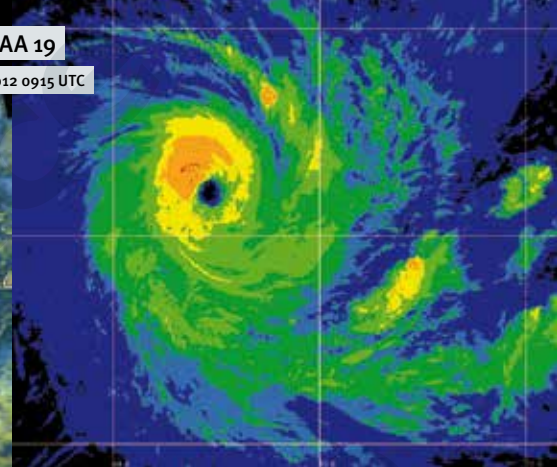
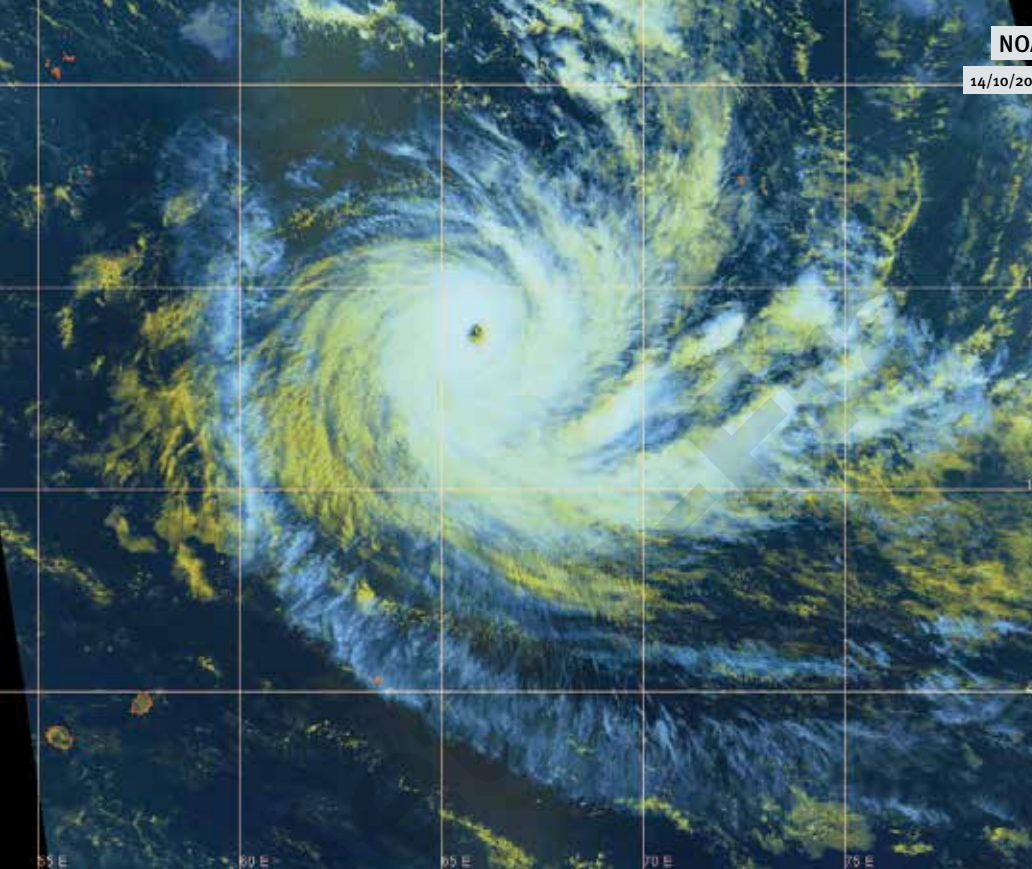
Le potentiel d'intensification apparaît donc assez important. Mais de là à imaginer que l'on va se re-trouver 48h plus tard avec un cyclone tropical intense, le premier jamais observé sur l'océan Indien Sud au mois d'octobre, il y a un fossé que personne ne s'aventurerait alors à franchir...

### EVOLUTION

La surprise ne va donc pas être d'assister à la phase d'intensification à venir, qui était prévisible, mais de constater qu'elle va amener le phénomène bien au-delà de ce qui paraissait raisonnablement envisageable en terme d'intensité. Rappelons, en effet, que nous ne sommes même pas à la mi-octobre, au début du printemps austral donc, et qu'il est un facteur qui doit tôt ou tard – et en l'occurrence davantage tôt que tard normalement –, constituer une limite au développement d'un système dépressionnaire tropical, à savoir l'intensité maximale potentielle autorisée par le contenu énergétique océanique.

Sous réserve de la fiabilité, parfois incertaine, de l'évaluation de ce dernier paramètre, il semblerait qu'il soit, dans le cas présent, bien en phase avec le champ de températures de surface de la mer. Ce dernier montre une extension vers le sud des eaux chaudes relativement restreinte, comme il est logique en cette saison, et également anisotrope, avec des différences non négligeables selon la longitude. La limite sud des eaux dont la température de surface est supérieure à 26.5°C, ondoie ainsi fortement autour du 10<sup>ème</sup> parallèle Sud. On note, en particulier, la présence, au voisinage du méridien 66°Est, d'une excroissance d'eaux chaudes, dont les températures





**ANAIS, un cyclone tropical d'exception.** Le premier système dépressionnaire de la saison 2012-2013 restera définitivement gravé dans les annales météorologiques comme le premier cyclone tropical intense observé au mois d'octobre dans l'océan Indien Sud depuis le début de l'ère satellitaire. Pour une fois, l'expression par trop galvaudée : "on n'a jamais vu ça", s'applique réellement...

**ANAIS, an exceptional tropical cyclone.** The first system of the 2012-2013 season will for ever remain engraved in the meteorological annals as the first intense tropical cyclone observed in October in the South Indian Ocean since the beginning of the satellite era. For once, the overused expression : "never seen that before", can really apply here...

de surface excèdent les 27°C, jusque vers 12° Sud. Cette "langue" d'eaux relativement plus chaudes se trouvant à l'avant de la trajectoire du futur ANAIS, ce dernier va donc bénéficier d'un contenu énergétique océanique sous-jacent en hausse circonstancielle pendant les 36 à 48h suivantes (malgré une trajectoire sud-ouest tendant à l'écarter de la zone proche-équatoriale). Il va en tirer le meilleur parti, au-delà des attentes même...

En matinée du 13 octobre, ANAIS est baptisé, à retardement, car le météore est déjà plus près à ce moment-là du stade de forte tempête tropicale que du seuil de la tempête tropicale modérée (franchi quant à lui dès la nuit précédente) et l'on commence à distinguer l'ébauche d'un œil mal défini sur l'imagerie satellitaire visible. Une tendance que laissait déjà entrevoir l'imagerie micro-onde dès la fin de nuit et qui va se confirmer souverainement au fil de la journée. En soirée, c'est un œil accompli qui se dévoile, ce qui amène au classement d'ANAIS au stade de cyclone tropical en début de nuit. Un événement déjà rarissime en soi pour un mois d'octobre, mais l'exceptionnel reste encore à venir...

Car sur sa lancée, la dynamique enclenchée ne va pas en rester là : avec un phénomène amené à se retrouver dans les 24h sous l'extrémité ouest de la dorsale de haute troposphère, les conditions environnementales déjà excellentes (cisaillement de vent faible, très bonne divergence d'altitude – du côté ouest et sud particulièrement) n'ont pas encore atteint leur optimum et il reste une marge d'intensification, virtuellement jusqu'à l'intensité maximale potentielle.

## FORMATION

*The 2012-2013 cyclone season started with a bang, kicking off extremely early with the improbable as well as spectacular development of an exceptional phenomenon : a tropical cyclone, what is more intense, before mid-October. Yet, there was nothing to hint that this could happen. Whereas it could be rightfully considered at first sight that an exceptional situation and exceptional circumstances, way beyond climatological norms, ought to have been present to lead to such an event, there was nothing of the kind. As a matter of fact, the environmental context, which was to serve as the framework of the first cyclogenesis of the season, thereafter producing a virtually unprecedented storm, had nothing particularly favourable from the start in theory.*

*Actually, towards the end of the first ten days of October, it was the core dry phase of the Madden-Julian Oscillation (MJO) which was prevailing and still lingering over the central Indian Ocean. And as no other tropical wave (Equatorial Rossby wave or Kelvin wave) was then present to counterbalance the influence of the MJO, the environmental background seemed more inclined to thwart convective activity than to sustain it and therefore appeared at first sight unlikely to be conducive to cyclogenesis.*

*In spite of that, there was well and truly some convection present, on 9 October 2012, between the Maldives and the Chagos archipelagoes, not in immoderate quantity for sure, but quite notable for the beginning of October. The global*

*cloud configuration, with some displayed cloud curvatures which made the overall swirling organisation undeniable, along with the surface observations available in the area (from Gan and from Diego Garcia in particular), suggested that a closed low circulation was perhaps becoming embedded already within the near-equatorial trough. It became clearer on the following day, when a low-level circulation centre made itself conspicuous not far from a drifting buoy, whose observations made it possible to validate a low pressure at 1007 hPa.*

*However, the convective activity and the organisation of the cloud system showed some decline as compared to the day before, but they very soon recovered a new impulse, from the following day, 11 October onwards. The morning Ascát swath confirmed the existence of the small, closed low circulation and enabled one to be more specific about the structure of the wind field: a trans-equatorial northwesterly flow coming from the Maldives was converging with the trade winds prevailing to the south of the Chagos.*

*The numerical models agreed to predict further slow deepening of this nascent depression and they foreshadowed cyclogenesis after 36 to 48h. In fact it proved to be much faster.*

*In the early morning of 12 October, the stature and the status of the system had already changed: the swirling organisation had been invigorated in a spectacular way, with convection wrapping henceforward resolutely around a central core which had just built up after passing nearest to the Diego Garcia atoll, not far*

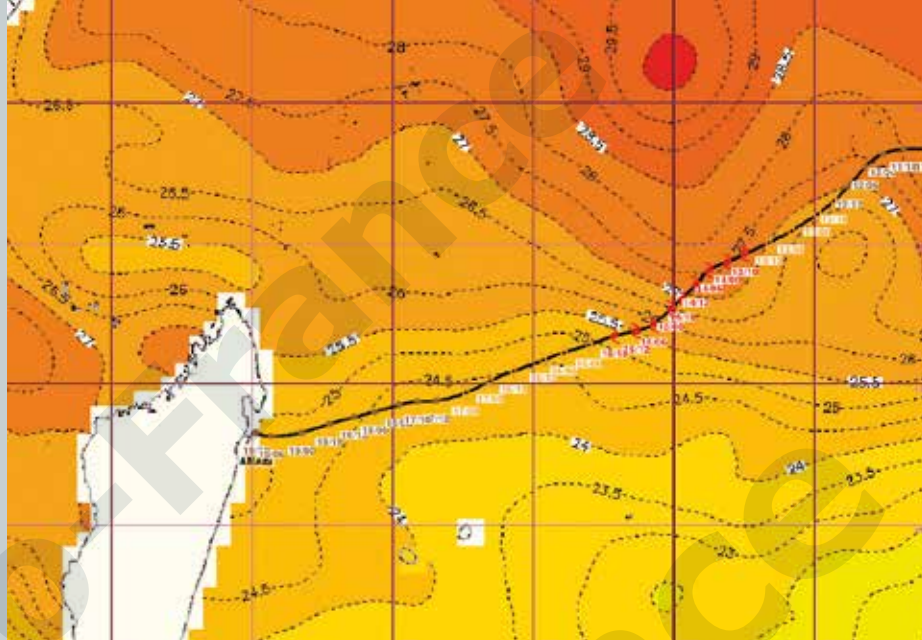


from which the low centre had transited at the end of the night (less than 50 km to the north). In view of the pressures observed by the Diego Garcia station, the deepening was admittedly still marginal, but the cyclogenesis process was henceforth well on its way and there was no room for doubt concerning an imminent successful outcome, considering the promising displayed cloud configuration. From mid-day onwards, on consideration of both the evolution observed on the satellite imagery and the wind field derived from the data from the Oceansat scatterometer radar, the meteor was ranked as a tropical depression. And the prevailing conditions appeared to be propitious to further development, with a more and more favourable environment: the upper divergence was radiant (poleward especially), while the residual easterly sheared constraint could not but relax, with the trajectory settled on a southwestward to west-southwestward heading, that would continue to bring the meteor closer to the upper ridge axis on whose northwestern edge it was still evolving then.

Hence the intensification potential appeared to be rather significant. But it was a huge leap from there to the idea that one would end up with an intense tropical cyclone 48h later, the first ever observed in the Southern Indian ocean in October. No one would have then ventured to take the step...

## EVOLUTION

Therefore, the surprise was not to be the witnessing of the intensification phase to come, which was foreseeable, but to realize that it was to lead the phenomenon far beyond what seemed to be reasonably conceivable in terms of intensity. As a matter of fact, one must keep in mind that it was not even mid-October, and thus the beginning of the austral spring, and that it was a factor that should sooner or later – and in that case normally rather sooner than later -, act to limit the development of a tropical low-pressure system, namely the maximum potential intensity allowed by the oceanic heat content. Subject to the reliability, sometimes uncertain, of the evaluation of the latter parameter, it seemed to be, in the present case, well in phase with the sea surface temperature field. The latter showed a relatively limited extension towards the south of the warm waters, as is logical in this early spring season, and also anisotropic, with not insignificant



Trajectoire d'ANAIS superposée au champ de températures de surface de la mer (analysé le 13 octobre 2012). Pour pouvoir atteindre une intensité aussi exceptionnelle aussi tôt dans la saison, il fallait disposer d'un contenu énergétique océanique suffisant. On constate sur l'image ci-dessus, que l'intensification d'ANAIS a effectivement correspondu avec l'arrivée sur une excroissance d'eaux chaudes issue des basses latitudes, avec des températures de surface excédant les 27°C jusqu'au 12ème parallèle Sud. On constate également que, par inertie, le météore a conservé le statut de cyclone tropical plus de 24 heures après avoir franchi l'isotherme 26.5°C, n'étant finalement déclassé en tempête tropicale qu'en arrivant aux abords de l'isotherme 25°C.

ANAIS' track superimposed on the sea surface temperature field (as analysed on 13 October 2012). To manage to attain such an exceptional intensity as early in the cyclone season, the storm had to benefit from at least an ocean heat content of sufficient capacity. One can notice on the above image that the onset of ANAIS' intensification indeed corresponded to the arrival on a patch of warmer waters digging southward from the lower latitudes, with sea surface temperatures exceeding 27°C down to latitude 12°South. One can also notice that, by inertia, the meteor kept its tropical cyclone status for more than 24 hours after having crossed the 26.5°C isotherm, being eventually downgraded into a tropical storm only when approaching isotherm 25°C.

differences according to the longitude, as the sea surface isotherm 26.5°C delimiting the southern boundary of "warm" waters, was undulating quite significantly around latitude 10°South. In particular, the presence of an excrescence of warm water could be noticed in the vicinity of longitude 66°East, with sea surface temperatures exceeding 27°C down to about latitude 12°South. As that "tongue" of relatively warmer waters was located ahead of the trajectory of to-be ANAIS, the latter was consequently to casually benefit from an underlying oceanic heat content destined for improvement during the next 36 to 48h (in spite of a southwestward track which tended to move the storm away from the near-equatorial zone). It was to get the most of the situation, even beyond expectation...

During the morning of 13 October, ANAIS was named, belatedly, as, at that time, the meteor was already nearer the stage of severe tropical storm than the threshold of moderate tropical storm (which it had reached the night before) and the hint of an ill-defined eye began to appear on the visible satellite imagery. A tendency that the microwave imagery had already portended from the end of the night and that would be splendidly confirmed as the day went by. During the evening a bona fide eye was unveiled, which led ANAIS to be classified as a

Le développement s'accélère, avec un taux d'intensification qui va passer à deux points de gain en 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak. L'œil devient plus régulier, se réchauffe et se contracte. Peu après la mi-journée du 14, ANAIS devient cyclone tropical intense : du jamais vu depuis le début de l'ère satellitaire en octobre ! L'intensité culmine en fin d'après-midi, avec un vent maximal moyen sur 10 min estimé à 100 nœuds, une valeur à peine croyable pour un système qui évolue alors sur des eaux à 27°C en surface. Cela amène à considérer qu'ANAIS a, si ce n'est atteint son intensité maximale potentielle, du moins l'a tutoyé de très près.

L'intensité Dvorak demeure établie à 6.0 jusqu'en début de nuit, mais l'analyse de l'imagerie micro-onde incite à faire valoir que cette intensité surestime alors l'intensité réelle d'ANAIS. Car un cycle de remplacement du mur de l'œil a débuté. En fait, les signes précurseurs de ce cycle étaient déjà en place depuis 24h, avec la présence d'une bande convective externe ayant commencé de s'enrouler autour du mur de l'œil interne (voir séquence d'images micro-onde et détails page opposée), pouvant laisser penser que le processus d'intensification serait suspendu ou interrompu plus tôt. Mais une rémission temporaire est intervenue, permettant à ANAIS d'atteindre son pic d'intensité.



Simple péripétie dilatoire à l'arrivée, puisque le cycle de l'œil se concrétise finalement la nuit suivante : l'œil initial disparaît, supplanté par l'anneau concentrique de convection externe qui s'est constitué, pour se muer ensuite en mur de l'œil de substitution. A l'aube du 15 octobre, le cyclone se retrouve in fine avec un nouvel œil, quasiment deux fois plus large que le précédent (presque 100 km de diamètre, contre un peu plus de 50 km au moment du maximum d'intensité). Cette transformation s'est évidemment

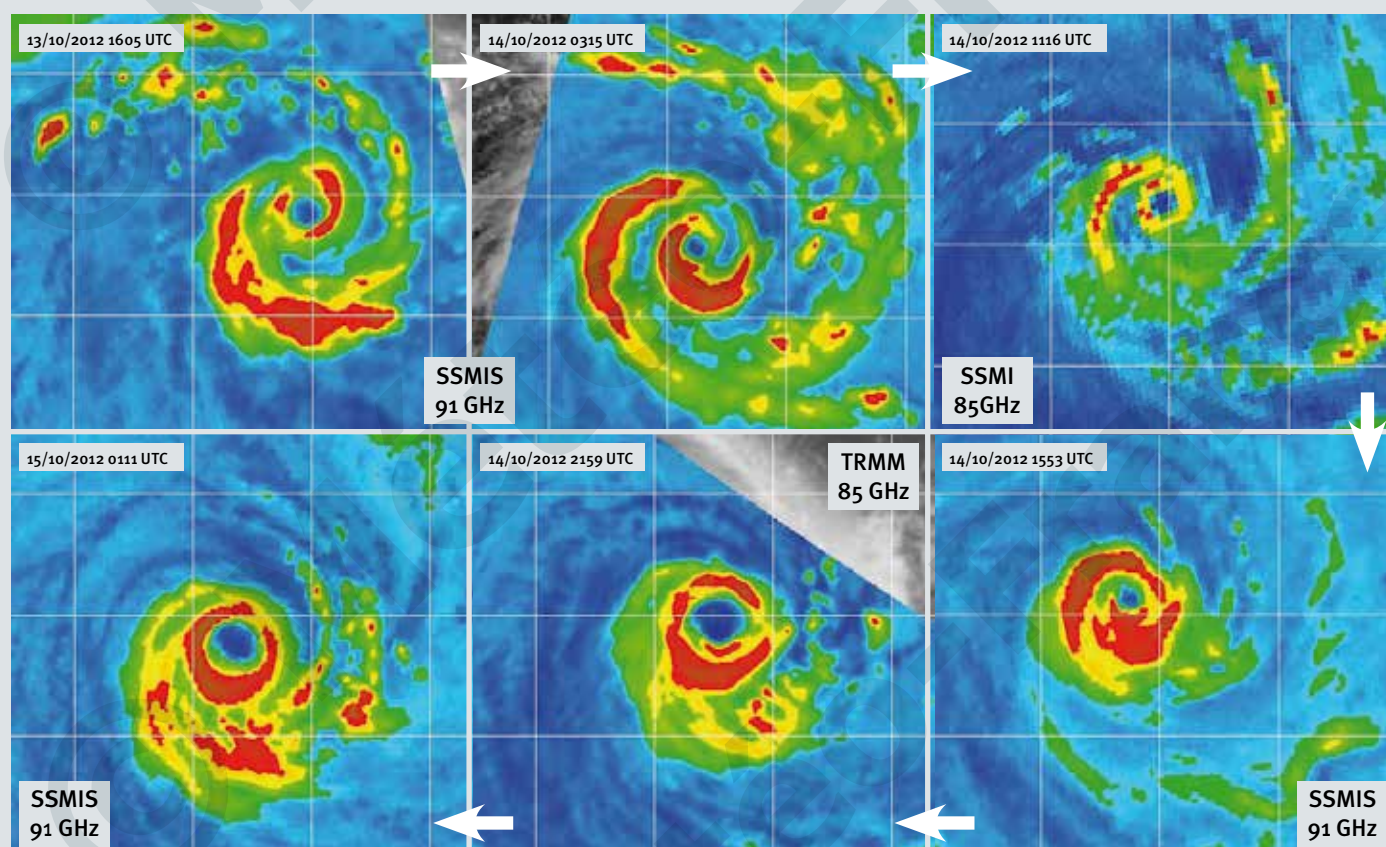
tropical cyclone at the beginning of the night. An already extremely rare event in itself for the month of October, but the outstanding still remained to come... Because, as it forged ahead, the process of intensification had still room to gather momentum : with a phenomenon driven to find itself within 24h underneath the western end of the upper troposphere ridge, the already excellent environmental conditions (weak vertical windshear, very good upper divergence – on the western and southern sides especially) had not

yet reached their optimal state. So there remained an intensification margin, virtually to the maximum potential intensity. The development quickened its pace, with an intensification rate rising to two points of gain in the ensuing 24h on the Dvorak intensity scale. The eye became more regular, warmed up and shrank. Soon after mid-day on 14 October, ANAIS became an intense tropical cyclone : such an event had never been witnessed in October since the beginning of the satellite era! The intensity reached a

**ANAIS' eyewall replacement cycle as seen by microwave imagery.** As it is frequently the case for intense cyclones, ANAIS' mature phase resulted in an eyewall replacement cycle. Except that the latter was a little atypical, in that it did not operate in a "linear" way, but rather in two steps.

It started in a rather typical way, with the development of an outer band of convection, which wrapped around the core of the meteor. In the morning of 14 October, that band was about to finish encircling the inner eyewall completely. The latter began to be affected by that cumbersome presence (which modified the secondary circulation associated with the cyclone) and showed signs of incipient erosion and subsidence of its convection. But whereas the logical outcome would have been to see the outer concentric ring of convection completely close, and then shrink and cause the inner eyewall to collapse, the process seemed to fizzle out. The outer band broke (see weakness on image of 0315 utc), then disintegrated to a great extent on its eastern and southern parts (cf. image of 1116 utc), which enabled the eyewall to regain strength and fully recover its integrity, even acquiring a potency which had been unequalled up to then. As a result, ANAIS' intensity culminated at that moment.

However, the western portion of the initial outer convective band still subsisted and it appeared that, a few hours later, a reversal of the situation had intervened : the inner eyewall appeared encircled and totally embedded within the reinvigorated outer convective activity and had begun to bear the brunt, as it had already partly dissipated northward. The relict, still visible on the TRMM imagery of the night, would disappear by the morning of 15 October, making room for a new eve, noticeably wider compared to the initial eve.

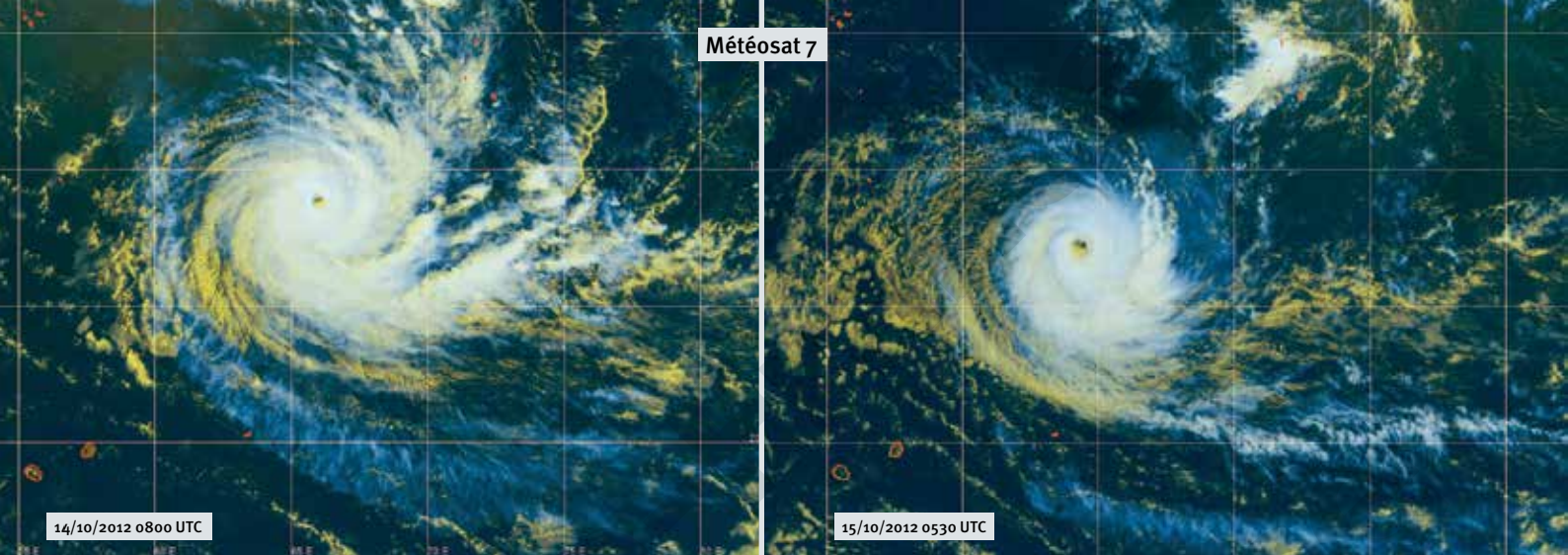


**Cycle de remplacement du mur de l'œil d'ANAIS vu par l'imagerie micro-onde.** Comme c'est fréquemment le cas pour les cyclones de forte intensité, la phase mature d'ANAIS a débouché sur un cycle de remplacement du mur de l'œil. Sauf que ce cycle a été un peu atypique, dans le sens où il ne s'est pas opéré de manière "linéaire", mais plutôt en deux temps.

L'entame fut assez classique, avec le développement d'une bande externe de convection venant s'enrouler autour du cœur du météore. Au matin du 14 octobre, cette bande est sur le point de finir d'encercler complètement le mur de l'œil interne, qui commence à être affecté par cette présence encombrante (venant modifier la circulation secondaire associée au cyclone) et montre les signes d'un début d'érosion et d'affaiblissement de sa convection. Mais alors que la suite logique voudrait que l'anneau concentrique externe de convection se referme complètement, pour ensuite se contracter et provoquer l'effondrement du mur de l'œil interne, le processus semble tourner court. La bande externe se rompt (voir faiblesse sur l'image de 0315 utc), puis se désagrège pour bonne part du côté est et sud (cf. image de 1116 utc), ce qui permet au mur de l'œil de reprendre le dessus et de retrouver toute son intégrité, acquérant même une puissance inégalée jusque là. ANAIS est alors au summum de son intensité.

Subsiste toutefois la partie ouest de la bande convective externe initiale et l'on constate que, quelques heures plus tard seulement, la situation s'est retournée : le mur de l'œil interne se retrouve cerné et totalement enchâssé au sein de l'activité convective externe revigorée et a commencé d'en subir le contrecoup, s'étant déjà en partie dissipé du côté nord. Les dernières bribes encore visibles sur l'imagerie TRMM de la nuit, auront disparu au matin du 15, laissant place à un nouvel œil, sensiblement élargi par rapport à l'œil initial.





**ANAIS : un improbable et "historique" cyclone tropical intense d'octobre.** ANAIS a été classé cyclone tropical intense durant un peu moins de 24 heures, les deux images ci-dessus marquant peu ou prou le début et la fin de la période correspondante. Prises en janvier ou en février, ces images auraient été presque banales, mais datées des 14 et 15 octobre, elles acquièrent une valeur quasiment historique, faisant en tout cas entrer ANAIS pour toujours dans la longue histoire des cyclones, comme le premier cyclone tropical intense observé par satellite en octobre dans le Sud de l'océan Indien. Noter, entre les deux images, la différence de taille de l'œil, qui s'est élargi consécutivement au cycle de remplacement du mur de l'œil intervenu dans l'intervalle.

**ANAIS: the odd one out and "historic" intense tropical cyclone in October.** ANAIS was ranked as an intense tropical cyclone for a little less than 24 hours, the two images above marking out more or less the beginning and the end of the corresponding period. Had they been taken in January or February, these images would have been almost banal, but dated 14 and 15 October, they acquired a nearly historic value, which in any case made ANAIS part, for ever, of the long history of cyclones, as the first intense tropical cyclone observed by satellite in October in the South Indian Ocean. Note, between the two images, the difference in size of the eye, which had widened as a result of the eyewall replacement cycle that had taken place in the meantime.

climax at the end of the afternoon, with a maximum 10-min average wind estimated at 100 knots, a hardly believable value for a system which was then evolving over water whose surface temperature was set at 27°C. One was led to conclude that ANAIS had, if not reached its maximum potential intensity, at least got very close to it.

The Dvorak intensity remained steady at 6.0 until the beginning of the night, but the analysis of the microwave imagery led one to assert that that intensity then overestimated ANAIS' real intensity; because an eye replacement cycle had begun. In fact, the harbinger signs of that cycle had already been visible for 24h, with the presence of a convective outer band which had started wrapping around the inner eye wall (see sequence of microwave images and details on previous page). This could lead one to believe that the intensification process would be suspended or interrupted earlier. But a temporary remission had taken place, allowing ANAIS to reach its intensity peak.

A simple delaying episode ultimately, since the eye cycle finally materialized during the following night : the initial eye disappeared, supplanted by the concentric ring of outer convection which had built and thereafter turned into a substituting eye wall. At dawn on 15 October, the cyclone was eventually provided with a new eye, nearly twice as large as the previous one (almost 100 km in diameter, compared to 50 km at the time of its maximum of intensity). Of course such transformation had taken place along with intensity fluctuations, which, by the way, were eventually reflected by the

satellite signature in infrared imagery : after falling to 4.5 at the end of the night, the Dvorak intensity temporarily rose again at the beginning of the day. But following the completion of the eye cycle, the assessment was that eventually ANAIS had lost some of its glory, even if it was still ranked as an intense tropical cyclone.

Not for long however. Since meanwhile the meteor had continued its southwestward motion at a speed of 10-15 km/h and its centre was then situated to the west of longitude 65°East and to the south of latitude 12°South. Hence from then on ANAIS left the area associated with a "high" oceanic heat content, which had sustained its intensification, and found itself over cooler water, whose surface temperature would quickly drop below the 26°C threshold. But beyond that first negative factor, which could already by itself wear down the vitality of the meteor, a far more significant obstacle was looming on the horizon : the cyclone was now approaching the western end of the upper ridge, bordered with a jet stream of northerly to northwesterly winds, ahead of a trough coming from the west. A strengthening of the vertical windshear was then unavoidable within the next 24h.

That upper barrier of strong winds with which the disturbance was inescapably to collide, created de facto a protective shield for the inhabited lands of the western part of the basin, and guaranteed them that ANAIS could not, in any way, approach them with a significant intensity. There was therefore nothing to worry about the meteor being able to cause any risk of strong winds. The system that

accompagnée de fluctuations d'intensité, qui ont d'ailleurs fini par se répercuter jusque sur la signature satellitaire en imagerie infrarouge : après être tombée à 4.5 en fin de nuit, l'intensité Dvorak remonte temporairement en début de journée. Mais au terme de ce cycle de l'œil, le constat est qu'ANAIS a au final quand même perdu de sa superbe, même s'il demeure encore classé en cyclone tropical intense.

Plus pour longtemps toutefois. Car le météore a entre-temps poursuivi sa progression à 10-15 km/h en direction du sud-ouest et son centre se situe maintenant à l'ouest du 65ème méridien Est et au sud du 12ème parallèle Sud. ANAIS quitte dès lors la zone à "fort" contenu énergétique océanique qui avait soutenu son intensification, pour se retrouver sur des eaux plus fraîches, dont la température de surface va rapidement s'abaisser sous le seuil des 26°C. Mais au-delà de ce premier facteur négatif déjà à même d'entamer la vitalité du météore, c'est un écueil bien plus conséquent qui se profile à l'horizon : le cyclone se rapproche de l'extrémité occidentale de la dorsale d'altitude, bordée par un courant jet de vents de nord à nord-ouest, à l'avant d'un talweg qui arrive par l'ouest. Un renforcement du cisaillement vertical de vent est donc inéluctable dans les 24h à venir.

Cette barrière de vents forts en altitude à laquelle va inévitablement se heurter la perturbation, constitue de facto un bouclier protecteur pour les terres habitées de l'ouest du bassin, leur garantissant qu'ANAIS ne peut en aucun cas venir les approcher à une intensité conséquente. Il n'y a donc pas la moindre inquiétude sur le fait que le météore puisse venir y



16/10/2012 1806 UTC

**ANAIS se comble au nord de l'archipel de Saint-Brandon (et des Mascareignes).** Ayant subi depuis la veille l'impact d'un cisaillement vertical de vent de nord-ouest, le météore s'affaiblit assez rapidement. Le champ de vents dérivé de la fauchée Ascát venue opportunément intercepter la circulation dépressionnaire, permet de valider l'existence de coup de vent résiduel, essentiellement dans le quadrant au sud-ouest du minimum dépressionnaire, pour sa part précisément estimé à 994 hPa grâce à la présence à proximité de deux bouées dérivantes. De l'intérêt de disposer d'observations directes ou indirectes pour mieux calibrer les paramètres clés d'un système dépressionnaire...

**ANAIS while filling up to the north of the Saint-Brandon Archipelago (and of the Mascarene Islands).** Having undergone the impact of a northwesterly vertical windshear since the day before, the meteor weakened rather quickly. The wind field derived from the Ascát swath, which opportunely intercepted the clockwise circulation, made it possible to validate the existence of residual gale force winds, essentially in the southwestern quadrant of the low circulation. The central pressure was precisely estimated at 994 hPa thanks to the presence of two drifting buoys nearby. Hence the interest in obtaining direct or indirect observations in order to calibrate the key parameters of a low-pressure system...

occasionner un quelconque risque de vents forts. Ce sera forcément un système très affaibli, ou moribond, qui viendra en bout de course terminer son existence dans le secteur compris entre les Mascareignes et la côte Est de Madagascar. Le seul élément à considérer sera donc l'activité nuageuse résiduelle et les éventuelles pluies qui pourraient en découler (voir page suivante pour ce qu'il en advint des effets pour La Réunion). Mais l'on n'en est pas encore là. Comme attendu, ANAIS commence effectivement à s'affaiblir en journée du 15 octobre, modérément si l'on se fie à la seule impression laissée par l'imagerie satellitaire classique, beaucoup plus franchement si l'on considère l'imagerie micro-onde, qui révèle que l'œil et la convection ont, dès le début d'après-midi, été pour l'essentiel détruits dans le demi-cercle nord du système nuageux, secteur au vent dans lequel la ventilation de nord a donc déjà sérieusement "mordu". C'est donc un affaiblissement tout aussi rapide que n'avait été la phase d'intensification qui va s'opérer en l'espace de 24h. ANAIS perd son statut de cyclone tropical en milieu de nuit. Et au matin (du 16), le météore, encore classé en forte tempête tropicale, par inertie du champ de vents (les fauchées Ascát et Oceansat confirmant d'ailleurs la présence résiduelle de vents de la force tempête dans le demi-cercle sud de la circulation dépressionnaire), présente la configuration nuageuse

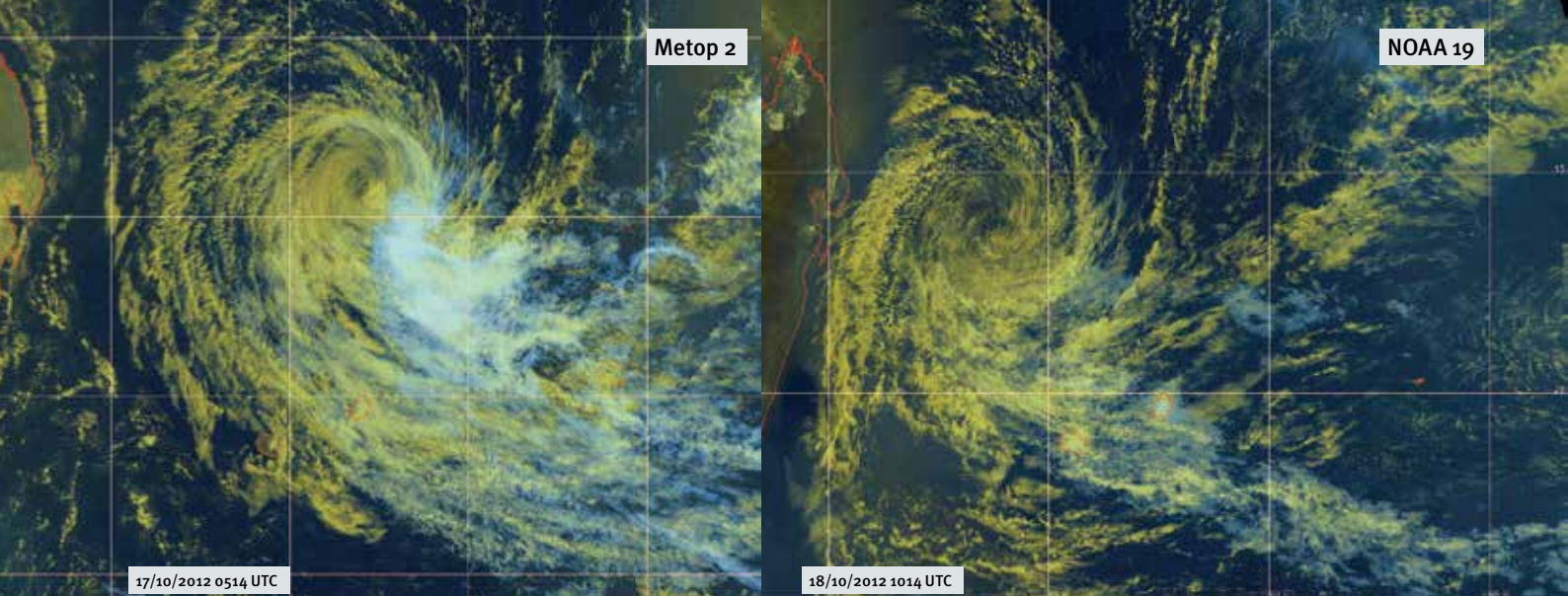
was ultimately to end its life cycle in the sector between the Mascarene Islands and the eastern coast of Madagascar, would be inevitably greatly weakened, or moribund. The only element to take into account would then be the residual cloud activity and the possible rains that might result from it (see next page for the effects on Reunion Island). But we had not yet reached that point. As expected, ANAIS indeed did begin to weaken during 15 October, moderately if one relied on the only impression left by the standard satellite imagery, much more resolutely if one considered the microwave imagery, which revealed that the eye and the convection had, from the beginning of the afternoon, been mostly destroyed in the northern semi-circle of the cloud system, the windward sector into which the northerly ventilation had then already seriously impinged on. The weakening which was to take place within the space of 24h was therefore quite as fast as the intensification phase. ANAIS lost its status as a tropical cyclone in the middle of the night. And in the ensuing morning of 16 October, the meteor, still ranked as a severe tropical storm, due to the wind field inertia (the Ascát and Oceansat swaths indeed confirmed the residual presence of storm force winds in the southern semi-circle of the clockwise circulation), exhibited the typical cloud configuration of a

northwesterly sheared system, within which convection persisted only in the southeastern quadrant of the low circulation.

ANAIS was then downgraded to the stage of moderate tropical storm during the afternoon, just before it crossed longitude 60°East. The associated low centre, already mostly filled (about 995 hPa at that time), transited, during the following night, some 200 km to the north of the Saint-Brandon Archipelago, where it generated very disturbed weather conditions, with an unusual rain episode for the season (111 mm recorded in 24h, of which 86 mm fell in 12h) and peak gusts of wind exceeding 90 km/h. Gale force winds were still present over a portion of the clockwise circulation (see image left on same page) until mid-day on 17 October, as testified by the wind data retrieved from the successive Ascát swaths. The last remnants of convection were at that time in the process of dissipating for good (see image next page) and tropical depression ex-ANAIS displayed nothing but a wide circulation of low and mid-level clouds orbiting around a still robust central vortex. But the latter was far less so 24h later, when its centre passed directly over Tromelin Islet, during the morning of 18 October, with a minimal pressure thus validated at 1006 hPa. With such a filling up, vorticity had significantly weakened and the rain activity had followed suit (only a few mm were recorded at Tromelin). Which did not prevent Reunion Island from undergoing rather heavy rainfall until the following morning (see details on page 16). What was left of ex-ANAIS ended up its course on the eastern coast of Madagascar in the afternoon, on the same day of 19 October, the low centre (1010 hPa) boarding the Great Island via Sainte-Marie Island.

By its early formation and by the out-of-the-norm intensity it reached, ANAIS would remain an exceptional phenomenon, becoming the second earliest tropical cyclone to develop over the South-West Indian Ocean since the beginning of satellite era (ranking just behind tropical cyclone BLANCHE – on 10 October 1969), but above all the first intense tropical cyclone ever observed in the month of October over the whole southern Indian ocean. More anecdotally, it would remain the most intense storm of the season, which was out of the ordinary too : even at the heart of the austral summer, it would not be outperformed in terms of intensity...





**ANAIS : une fin de vie pas sans conséquences.** "Soufflée" par la ventilation d'altitude, la convection s'est volatilisée en l'espace de quelques jours après le pic d'intensité du phénomène. Ne subsiste alors plus qu'une large circulation résiduelle de nuages bas et moyens, gravitant autour du vortex nuageux central associé au cœur de la dépression en cours de comblement.

Les premiers nuages circulant en périphérie sud-ouest de l'enveloppe nuageuse ont abordé l'île de La Réunion en matinée du 17 octobre. Bien que pas très compacts et en voie de désagrégation, ils seront cependant suffisants pour amener des pluies significatives sur une large portion du relief du département. L'essentiel des précipitations tombera entre le 18 et le 19 octobre, avec des pluies assez fortes dans les Hauts de l'Est, équivalant localement à la pluviométrie moyenne mensuelle du mois d'octobre. En 48h, on a relevé : 156 mm à La Plaine des Palmistes (dont 140 mm en 24h), 195 mm à Takamaka (dont 157 mm en 24h), 180 mm dans les Hauts de Sainte-Rose (dont 120 mm en 24h), 94 mm au Gîte du volcan de La Fournaise (dont 90 mm en 24h). L'advection de la masse d'air chaude et humide liée à l'ex-ANAIS s'est, par ailleurs, accompagnée de températures nocturnes exceptionnellement douces (fréquemment supérieures de 7°C à La normale dans les Hauts), voire élevées sur le littoral, dignes de celles d'un plein été, avec de nombreux records mensuels de températures minimales élevées battus (16,7°C à Cilaos ou 14,6°C à La Plaine des Cafres, par exemple).

Dans les jours précédents, l'approche d'ANAIS et la perspective de ses conséquences pluvieuses, ont fait l'objet d'une attention et d'une exposition médiatique toutes particulières, car elles constituaient une menace potentielle pour l'organisation du Grand Raid de La Réunion (la traversée de l'île à pied – autrement dénommée "Diagonale des Fous"...), le plus grand événement sportif (et aussi médiatique) de l'année, qui fêtait en cette occasion sa 20ème édition. Partis le 18 octobre à 22h de Saint-Philippe (côte extrême sud-est de l'île), pour rallier la capitale Saint-Denis au terme d'un périple de quelque 170 km (et plus de 10 000 m de dénivelé positif) au cœur des cirques et des montagnes de l'île, les plus de 2600 concurrents à cet ultra-trail mondialement réputé pour sa difficulté, ont connu une première journée compliquée par les conditions météorologiques, avec des conditions de course rendues encore plus pénibles par les pluies occasionnées par les restes nuageux de l'ex-ANAIS, d'où, à l'arrivée un taux record d'abandons (près de 50%).

**ANAIS : the end of a life-cycle not without consequences.** "Blown up" by the upper ventilation, convection had disappeared altogether within the space of a few days after the intensity peak of the phenomenon. Then there remained only a large residual circulation of low and mid level clouds, revolving around the central cloud vortex associated with the core of the filling depression.

The first clouds circulating along the southwestern edge of the cloud envelope reached Reunion Island during the morning of 17 October. Although they were not very compact and about to disintegrate, they were nevertheless sufficient to bring significant rain to a large portion of the high ground of the overseas French department. Most of the rainfall was recorded between 18 and 19 October, with rather heavy rains on the Eastern heights of the island, the equivalent locally to the monthly average rainfall of the month of October. In 48 hours the most notable recorded rainfall amounts were : 156 mm at the Plaine des Palmistes (of which 140 mm fell in 24h), 195 mm at Takamaka (of which 157 mm poured in 24h), 180 mm in the heights of Sainte-Rose (of which 120 mm fell in 24h), 94 mm at the Shelter of the Piton de la Fournaise volcano (of which 90 mm fell in 24h). Besides, the advection of the mass of warm and moist air linked to ex-ANAIS came together with exceptionally mild night temperatures (frequently 7°C above normal in the heights), even warm on the coast, worthy of those that prevail in the middle of summer, with many monthly records of minimal high temperatures beaten (16.7°C at Cilaos – 1200 m elevation – or 14.6°C at the Plaine des Cafres, for example).

During the previous days, ANAIS' approach and the prospect of its consequences in terms of rains, had been the subject of particular attention and coverage by the media, as they were a potential threat for the organisation of the Grand Raid of La Reunion (a race on foot across the island – also known as "the Diagonal of Fools"...), the greatest sport (and also media) event of the year, which, on that occasion, celebrated its 20th anniversary. More than 2600 competitors in that ultra-trail world-renowned for its difficulty, started on 18 October at 10pm from Saint-Philippe (the southeasternmost tip of the island), to reach the capital city, Saint-Denis, after a 170 km trip (and more than 10 000 m elevation gain), in the heart of the amphitheatres and mountains of the island. The first day was made complicated by the weather conditions with racing conditions made even more difficult by the rain generated by ex-ANAIS' residual clouds, hence a record rate of dropouts (nearly 50%).

classique d'un système cisailé de nord-ouest, au sein duquel la convection ne subsiste plus que dans le quadrant sud-est du minimum dépressionnaire.

ANAIS est ensuite déclassé en tempête tropicale modérée dans l'après-midi, peu avant de franchir le 60ème méridien Est. Le minimum dépressionnaire associé, déjà en grande partie comblé (environ 995 hPa à ce moment là), transite la nuit suivante à quelque 200 km au nord de l'archipel de Saint-Brandon, où ce passage se traduit par un temps bien perturbé, avec un épisode pluvieux inhabituel pour la saison (111 mm recueillis en 24h, dont 86 mm en 12h) et des rafales maximales de vent dépassant les 90 km/h. Du coup de vent est encore présent sur une partie de la circulation dépressionnaire (voir image page précédente) et ce jusqu'en milieu de journée du lendemain 17, comme

en attestent les données issues des fauchées Ascat successives. Les derniers résidus de convection sont alors en voie de dissipation terminale (voir image ci-dessus) et la dépression tropicale ex-ANAIS ne se résume plus qu'à une large circulation de nuages bas et moyens orbitant autour d'un vortex central encore bien affirmé.

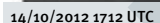
Mais qui l'est déjà beaucoup moins 24h plus tard, quand son centre passe directement sur l'îlot de Tromelin, en matinée du 18, avec un minimum de pression ainsi validé à 1006 hPa. Avec un tel comblement, la vorticité s'est fortement réduite et l'activité pluvieuse en a fait de même (quelques mm seulement observés à Tromelin). Ce qui n'empêchera pas La Réunion d'être significativement arrosée jusqu'au lendemain matin (voir détails ci-dessus). Les restes de l'ex-ANAIS finiront leur course

sur la côte Est de Madagascar ce même jour, dans l'après-midi du 19 octobre, le minimum (1010 hPa) arri-vant aux portes de la Grande Ile via l'  le Sainte-Marie.

De par sa précocité et de par l'intensité hors norme atteinte, ANAIS restera comme un phénomène d'exception, devenant le deuxième cyclone tropical le plus précoce à se développer sur le Sud-Ouest de l'océan Indien depuis le début de l'ère satellitaire (prenant rang juste derrière BLANCHE – cyclone tropical le 10 octobre 1969), mais surtout le premier cyclone tropical intense observé au mois d'octobre sur tout l'océan Indien Sud. De manière plus anecdotique, il restera comme le phénomène le plus intense de la saison, ce qui n'est pas banal non plus : même au cœur de l'été austral, on ne fera pas mieux en terme d'intensité...



*AN AIS, a few hours after reaching its maximum of intensity. The meteor still looked impressive but was no longer at its climax, as it was then undergoing an eyewall replacement cycle, undetectable on this infrared image (but on the other hand clearly detected by the microwave imagery – cf page 13).*



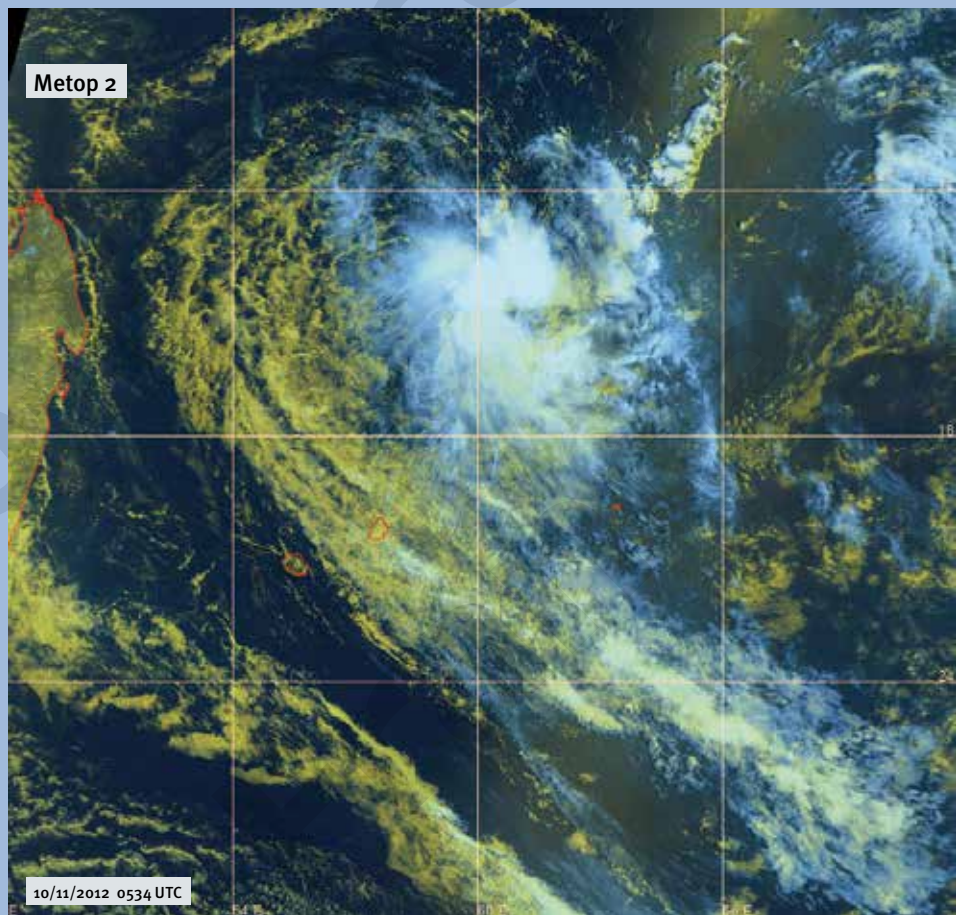


Du 7 au 12 novembre 2012 un minimum dépressionnaire faible a évolué entre les Chagos et Madagascar. Mais si ce minimum n'avait rien d'un foudre de guerre (pression minimale supérieure à 1005 hPa), la zone de temps perturbé associée était par contre extrêmement large. Elle a amené des pluies particulièrement bienvenues sur les Mascareignes et a même occasionné des précipitations records pour un mois de novembre sur l'îlot de Tromelin.

Sur l'image du 10 novembre, on peut voir l'étendue de la vaste circulation nuageuse associée à ce minimum dépressionnaire, en particulier du côté sud. Les premières bandes périphériques ne vont pas tarder à aborder La Réunion. Elles s'avèreront les plus actives, générant un épisode pluvieux significatif sur l'île entre l'après-midi du 10 et le début de journée du 11 (on a recueilli 99 mm en 24h à Saint-Benoît, dont 89 mm en 12h, 144 mm dans les Hauts de Ste-Rose, dont 128 mm en 12h, 116 mm à Takamaka, dont 103 mm en 12h, 107 mm à Bellevue Bras Panon, 57 mm au Maïdo et 52 mm à Gillot/Sainte-Marie).

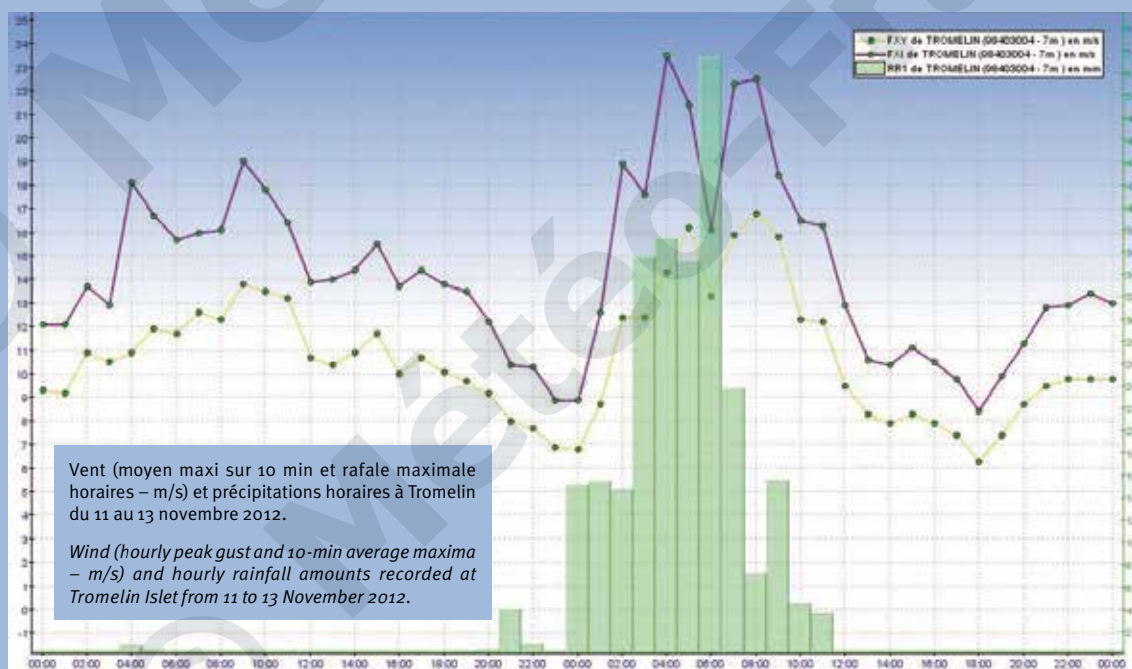
Mais ces précipitations seront sans commune mesure avec celles qui s'abattront 24h plus tard sur Tromelin (dépourvu lui de tout relief). C'est après que le minimum dépressionnaire résiduel a transité au nord de l'îlot (voir image de l'après-midi du 11), qu'une zone de convection profonde s'est développée en milieu de nuit suivante (voir image infrarouge), assez loin du centre dépressionnaire, sous le vent du flux d'altitude. Bien que située la majeure partie du temps en marge du noyau de maximum de convection, Tromelin a subi des précipitations intenses durant plusieurs heures en début de journée du 12, avec des cumuls de pluies impressionnants : 261 mm en 12h, dont 200 mm tombés en l'espace de 6h (et 126 mm en l'espace de 3h), avec un pic horaire de précipitations à 53 mm. Cet épisode pluvieux exceptionnel a non seulement pulvérisé l'ancien record de précipitations maximales quotidiennes pour un mois de novembre, mais a approché le record absolu de maximum de précipitations quotidiennes (proche de 300 mm).

Plus étonnant peut-être, a été le renforcement observé du vent qui a accompagné l'arrivée de ces fortes pluies (voir graphe ci-dessous). Il ne s'agissait pas d'un grain passager, puisque ces vents assez forts (de la force du grand frais) ont perduré plusieurs heures, avant de décliner en même temps que les pluies. Les deux fauchées Ascat acquises avant et après l'épisode pluvieux sur Tromelin, éclairaient l'événement. Il y apparaît qu'un resserrement important du gradient est effectivement intervenu entre le 11 et le 12 novembre, au sud et au sud-ouest de l'axe du profond talweg résiduel associé à l'ex-minimum dépressionnaire, désormais quasiment comblé, avec une belle "écharpe" de vents de la force du grand frais (voire coup de vent localement). L'effet de convergence marqué avec les vents de nord-est présents à l'arrière du talweg a, par ailleurs, certainement contribué à générer les fortes vitesses verticales qui ont déclenché la puissante activité convective développée en fond de talweg. A noter que ce noyau de vitesse verticale avait certes été appréhendé par les modèles numériques, mais, pour autant, ceux-ci

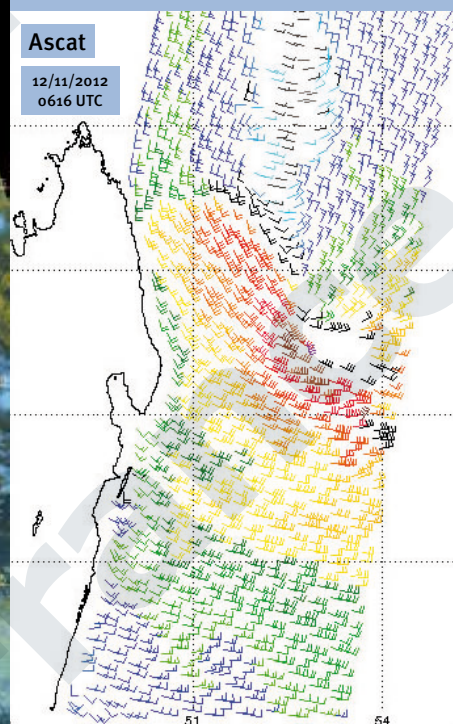
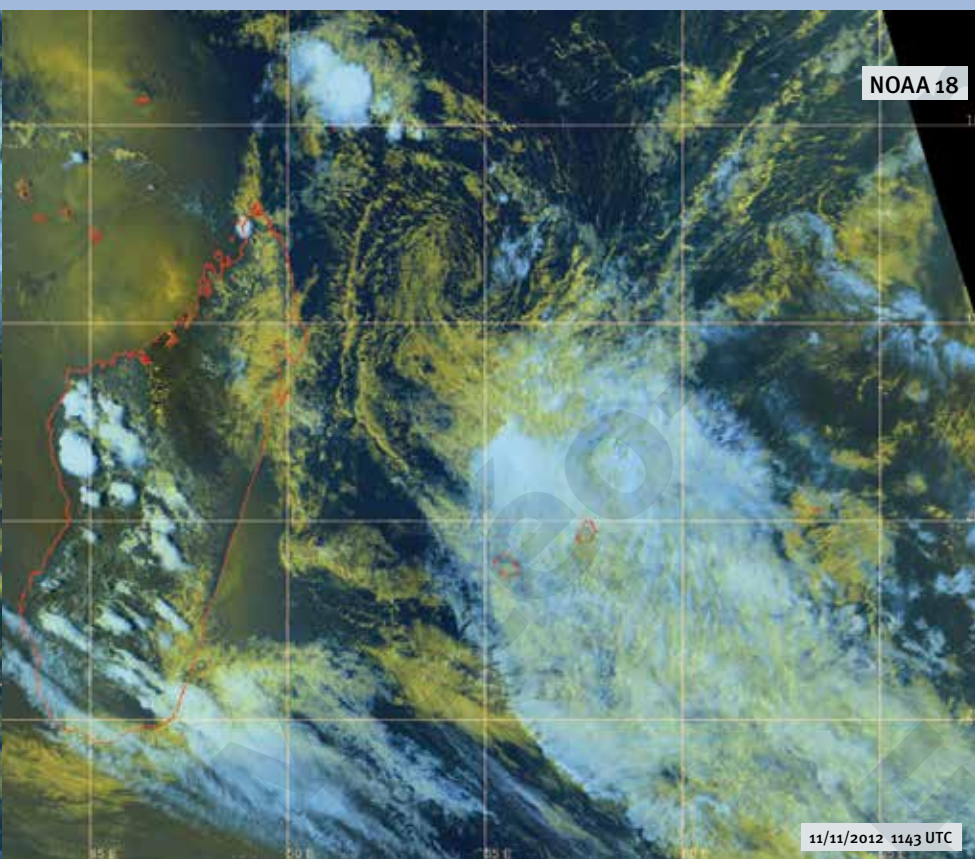


n'avaient anticipé correctement ni la localisation, ni l'intensité des pluies (et ont par ailleurs sous-estimé la force des vents en surface).

Enfin, il est intéressant de comparer les images du 11 novembre et du 17 octobre (correspondant à l'ex-ANAIS – voir page 16), qui présentent de réelles similarités. Malgré une dépression plus creuse (se traduisant par un vortex nettement plus affirmé) et un passage plus rapproché de Tromelin (le minimum dépressionnaire de l'ex-ANAIS ayant transité directement sur l'îlot et non au nord), les pluies engendrées par les masses nuageuses drainées par l'ex-ANAIS n'ont rien eu de comparable avec celles occasionnées par la zone perturbée de novembre. C'est spécialement vrai pour Tromelin, mais même à La Réunion, les pluies liées à l'ex-ANAIS ont certes été supérieures dans les Hauts, mais ont été moindres sur le littoral et moins généralisées à l'ensemble de l'île. On n'a, en outre, pas observé de poussée convective équivalente à celle ayant affecté Tromelin lors de l'épisode de novembre (si ce n'est tardivement à l'approche de la côte est de Madagascar, tout de même).







From 7 to 12 November 2012 a weak low evolved between the Chagos and Madagascar. But if that low was not a firebrand (minimal pressure keeping over 1005 hPa), the associated zone of disturbed weather on the other hand was extremely wide. It brought particularly beneficial rains to the Mascarene Islands and even generated record rainfall for a month of November on Tromelin Islet.

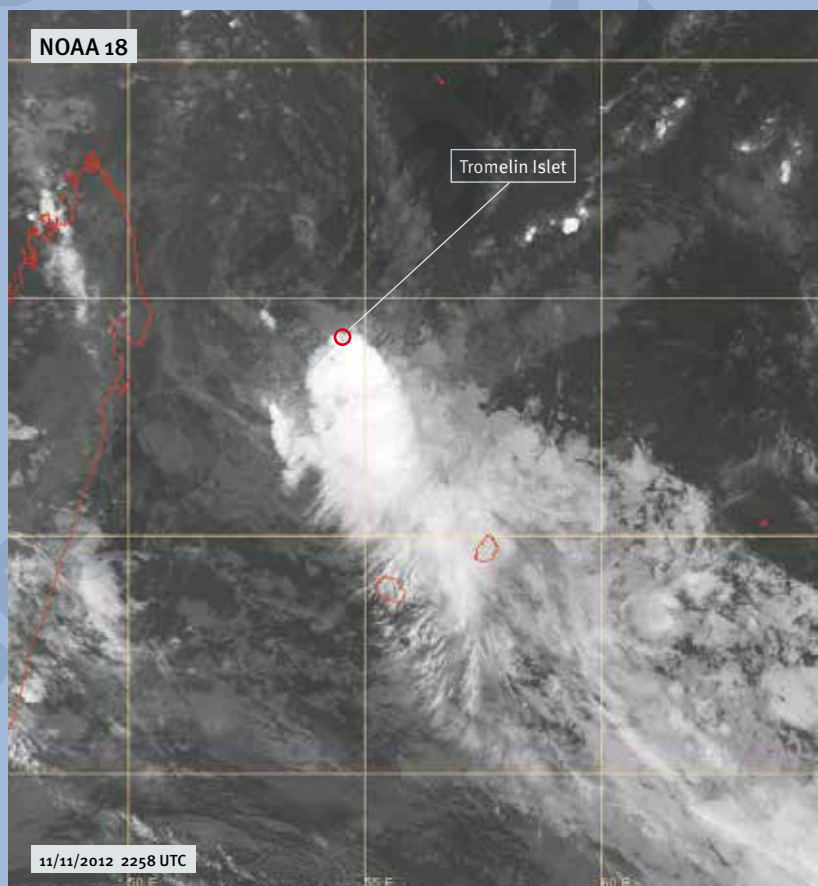
On the image of 10 November, it is possible to see the expanse of the broad cloud circulation associated with that low, especially southward. The first peripheral bands would soon accost Reunion Island. They proved to be the most active, with a significant rain episode on the island between the afternoon of 10 November and the beginning of 11 November (99 mm were recorded in 24h at Saint-Benoît, of which 89 mm in 12h, 144 mm in the heights of Sainte-Rose, of which 128 mm in 12h, 116 mm at Takamaka, of which 103 mm in 12h, 107 mm at Bellevue Bras Panon, 57 mm at the Maïdo and 52 mm at Gillot/Sainte-Marie).

But that rainfall was out of proportion with that which pelted Tromelin (without any relief) 24h later. It was after the residual low had transited to the north of the islet (see afternoon image on 11 November), that a deep zone of convection developed in the middle of the following night (see infrared image), rather far from the low centre, downwind of the upper flow. Although it was situated most of the time on the fringe of the nucleus of maximum convection, Tromelin had to cope with some intense rain for several hours at the beginning of 12 November, with impressive cumulated rainfall amounts : 261 mm in 12h, of which 200 mm poured down within the space of 6h (and 126 mm within the space of 3h), with an hourly rain maximum of 53 mm. That exceptional rain episode not only crushed the former record of daily maximum rainfall for a month of November, but it nearly equalled the absolute record of daily rainfall (close to 300 mm).

Far more amazing maybe, was the strengthening of the wind, which came together with those heavy rains (see graph opposite page). It was not just a transient squall, since those rather strong winds (of near gale force) lasted several hours, before abating together with the rain. The two Ascat swaths acquired before and after the rain episode over Tromelin, clarified the event. They revealed that a significant tightening of the pressure gradient had actually taken place between 11 and 12 November, to the south and to the southwest of the axis of the deep residual trough associated with the ex-low, henceforth nearly filled, with a noticeable "band" of near gale force winds (or even gale force winds locally). The marked convergence effect with the northwesterly winds existing at the rear of the trough certainly contributed to generating the strong vertical motion which triggered the powerful convective activity that developed at the bottom of the trough. It must be noted that that nucleus of vertical motion had indeed been apprehended by the numerical models, but, in spite of that, the latter had not correctly anticipated either the localization, or the intensity of the rains (and besides they underestimated the wind speed at the surface).

Lastly, it is interesting to compare the images of 11 November and of 17 October (corresponding to ex-ANAIS – see page 16), which present a number of real similarities. In spite of a deeper depression (resulting in a far better defined vortex) and a closer passage to Tromelin (ex-ANAIS' low having transited directly over the islet and not to the north of it), the rains generated by the cloud masses dragged by

ex-ANAIS had nothing in common with those brought about by the zone of disturbed weather in November. It was particularly true for Tromelin, but even in Reunion Island, the rains related to ex-ANAIS had admittedly been heavier in the heights, but they had been lighter on the coast and less widely spread to the whole island. Moreover, there was no outburst of convection similar to that which affected Tromelin during the November episode observed for ex-ANAIS (except belatedly on approaching the Malagasy coast however).





# Boldwin

## Forte Tempête Tropicale

du 20 au 25 novembre 2012

Severe Tropical Storm "Boldwin" (20-25 November 2012)



### FORMATION

Un début de saison cyclonique précoce dans le Sud-Ouest de l'océan Indien, c'est-à-dire voyant la survenue de la première tempête tropicale dès septembre ou octobre, est, dans la grande majorité des cas, suivi de l'occurrence d'une nouvelle tempête tropicale en novembre sur le bassin (voire exceptionnellement de deux, comme ce fut le cas lors de la saison 1996-1997). 2012-2013 ne va pas déroger à cette "règle", même si l'avènement du successeur d'ANAIS sera long à se dessiner, l'accouchement difficile de BOLDWIN ayant lui-même été précédé de plusieurs velléités infructueuses.

Deux systèmes dépressionnaires faibles avaient, en effet, été pistés préalablement. Bien que le premier d'entre eux n'ait fait l'objet d'aucun bulletin de suivi spécifique par le CMRS de La Réunion, contrairement à la perturbation n°02, il a néanmoins été le plus significatif, du fait de son influence sur les terres habitées, puisqu'il a ramené des pluies bienvenues pour les terres asséchées des îles de l'archipel des Mascareignes (voir images et détails dans l'encart spécial pages 18-19).

Du fait de leur trajectoire par trop zonale, ces deux perturbations n'avaient pu bénéficier de conditions propices à un développement, demeurant au nord de la dorsale d'altitude, dans un environnement par trop hostile en terme de cisaillement vertical de vent. A la faveur d'une trajectoire plus sud-ouest, le système n°03 va connaître un sort différent : traversant cette fois l'axe de la dorsale d'altitude, il va mettre à profit la petite fenêtre d'opportunité de conditions favorables, pour se développer prestement et devenir la forte tempête tropicale BOLDWIN.

Ses débuts ont pourtant été laborieux également. Suivie dès le 19 novembre sur l'Est du bassin, la zone perturbée

associée va peiner à s'organiser. Même si d'un jour à l'autre on note un léger gain au niveau de l'allure générale de la configuration nuageuse et de l'activité convective conjointe, l'évolution est très lente. Initialement détecté au sein du talweg proche-équatorial vers 8°Sud/88°Est, le minimum dépressionnaire associé évolue, à l'image de ses prédécesseurs, au nord de la dorsale d'altitude et reste soumis à un cisaillement vertical de vent modéré, de sud-est dans un premier temps, puis d'est. Mais contrairement à ses devanciers, il se déplace en direction générale de l'ouest-sud-ouest et se rapproche lentement, mais sûrement, de l'axe de la dorsale d'altitude.

Entre le 21 et le 22 novembre au matin, un pas important est franchi : l'activité convective, jusque là très morcelée, s'est regroupée et densifiée. La vorticité s'est dans le même temps renforcée, avec des bandes nuageuses qui présentent maintenant une courbure affirmée sur l'imagerie satellitaire. La divergence d'altitude appar  t de plus en plus favorable et l'on ne décèle plus aucun indice de cisaillement quelconque, bien que les données du CIMSS indiquassent la persistance d'une contrainte modérée d'est. Pour autant, l'amélioration très nette au niveau de la structure du système nuageux, ne s'est pas encore répercutée au niveau de la circulation dépressionnaire en surface, comme en attestent les fauchées successives Asc  t et Oceansat, dont les données de vents dérivées des données issues de leurs radars diffusiomètres, ne montrent pas de creusement significatif de la circulation dépressionnaire, avec des vents près du centre qui demeurent extrêmement faibles. La première partie de journée du 23 n'apporte aucune amélioration au niveau de la structure nuageuse. Bien au contraire. Très prometteuse la veille, avec une confi-

guration de pré-genèse assez typique, elle appar  t s'être plutôt dégradée. On a du mal à s'expliquer cette absence de réaction du système à la bonification en cours de ses conditions environnementales. A la faveur de la poursuite de son déplacement en direction de l'ouest-sud-ouest, il s'apprête, en effet, à franchir le 12  me parallèle Sud et se retrouve désormais sous la dorsale d'altitude, avec un cisaillement de vent en baisse et une situation a priori propice à un développement, d'autant qu'une excroissance d'eaux chaudes vers le sud à l'avant de la trajectoire prévue, devrait lui permettre de longer pendant encore un bon moment l'isotherme 28  C.

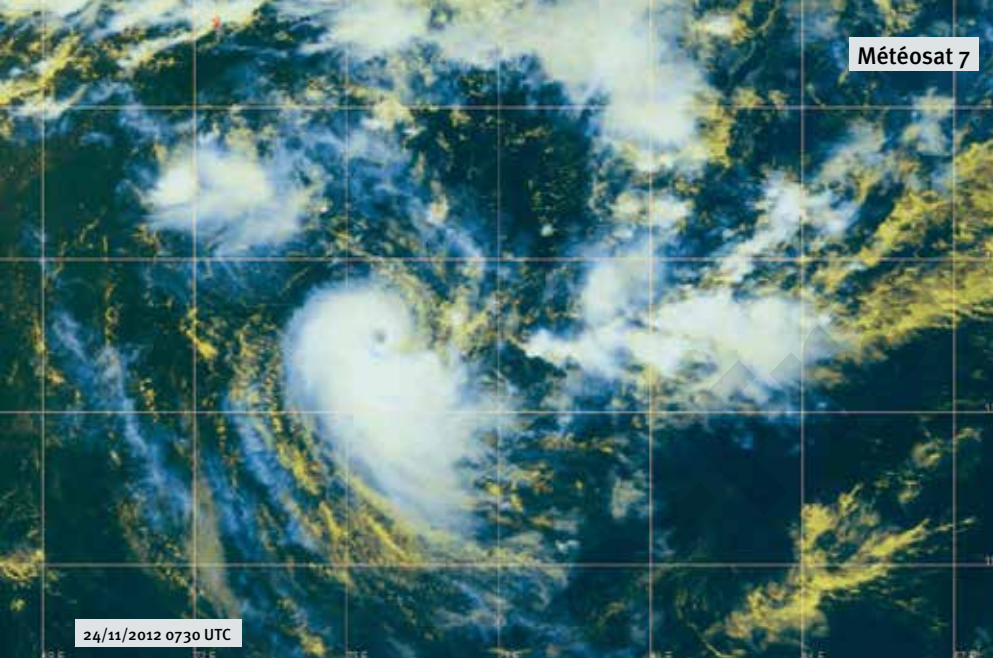
Ce n'est qu'en fin d'après-midi que l'on note, enfin, le frémissement d'un début de quelque chose : une ébauche de circulation de basses couches est esquissée sur l'imagerie satellitaire via les nuages bas présents, suivie dans la foulée par une poussée de convection près du centre dépressionnaire. Mais en première partie de nuit suivante, cette amorce d'évolution tarde à trouver confirmation, si bien que le système reste classé en simple perturbation tropicale. Ce n'est qu'en deuxième partie de nuit que la cyclogenèse va finalement se déclencher brutalement.

### EVOLUTION

Et autant il y aura eu du retard à l'allumage, autant le "décollage" de la fusée BOLDWIN va surprendre par sa fulgurance. Mettant les bouchées doubles pour rattraper le temps perdu, le météore connaît au cours des 12h suivantes une évolution spectaculaire de sa structure et de son intensité. La première partie de cette évolution (incluant la cyclogenèse), entre la fin de nuit et le début de journée du 24, est la plus vigoureuse. Favorisée par la petite taille du météore, cette phase d'intensification rapide se traduit par la constitution, en l'espace de quelques heures seulement, d'une structure à   cil sur l'imagerie micro-onde et d'un embryon d'  cil d  chiqu  t   sur l'imagerie visible.

La plus belle définition nuageuse est affichée peu après la mi-journée du 24 sur cette même imagerie visible, avec cette fois un   cil en bande clairement défini, mais fugace, puisque devenant évanescents dans la foulée et disparaissant dès l'après-midi. Mais la belle prestance encore exhibée sur l'imagerie micro-onde en cours d'après-midi (voir images TRMM page 22), laisse à penser que le maximum d'intensité a dû être atteint à ce moment là, alors que l'  cil était déjà en voie d'occultation sur l'imagerie visible. Ayant dû casser les contraintes de Dvorak, pour autoriser un gain de deux points





24/11/2012 0730 UTC

La forte tempête tropicale BOLDWIN, quelques heures avant son maximum d'intensité. Le météore présente alors ce qui sera sa meilleure définition sur l'imagerie satellitaire classique, avec un œil en bande.

*Severe tropical storm BOLDWIN, a few hours before it reached intensity peak. The meteor displayed then what will be its best definition on the classic satellite imagery, with a banding eye.*

sur l'échelle d'intensité correspondante en l'espace de 18h de temps seulement, BOLDWIN est alors classé au stade de forte tempête tropicale.

Mais le soufflé va retomber aussi vite qu'il était monté. Le pic d'intensité est, en effet, suivi d'une dégénérescence précipitée du météore, presque aussi rapide qu'avait été sa montée en puissance. Mais autant la phase d'intensification a pu surprendre par son démarrage aussi explosif que tardif (au point qu'on commençait à ne plus y croire, tant la fenêtre temporelle favorable se rétrécissait), autant cette phase d'affaiblissement était attendue. En poursuivant sa progression, même pas très rapide – à peine plus de 10 km/h de vitesse de déplacement – en direction du sud-ouest, BOLDWIN a atteint l'extrémité ouest de la dorsale d'altitude et subit les effets d'un renforcement du flux de nord-ouest circulant à l'avant d'un talweg de moyenne et haute troposphère. L'accroissement du cisaillement vertical de vent induit, a tôt fait d'impacter un système nuageux que sa petite taille rend très vulnérable. Malgré une belle résistance de l'activité convective, qui parvient à se maintenir au voisinage du centre dépressionnaire, faisant illusion sur l'intensité réelle du système, l'affaiblissement est inexorable. Dès le milieu de journée du 25 novembre, la circulation de basses couches n'est pour ainsi dire plus discernable, comme le montre l'imagerie micro-onde TRMM, et l'ex-BOLDWIN va en se dissipant rapidement la nuit suivante. Système dépressionnaire à la durée de vie très courte, 48h à peine à une intensité significative, BOLDWIN est un peu passé comme l'éclair. Aussitôt né, aussitôt disparu. Il a malgré cela tiré plus que ce que l'on pouvait attendre a priori, de la petite fenêtre temporelle propice à un développement qui lui a été offerte.

## FORMATION

*An early kickoff of the cyclone season in the South-West Indian Ocean, that is to say with the occurrence of the first tropical storm launching the season as soon as the month of September or October, is followed most of the time by the formation of another tropical storm in November over the basin (even exceptionally of two, as was the case during the 1996-1997 season). 2012-2013 did not give the lie to this "rule", even though the formation of ANAIS' successor would take a long time to take shape, the laborious birth of BOLDWIN having been preceded by several unsuccessful attempts of genesis.*

*Two weak systems had, as a matter of fact, been monitored beforehand. Although the first one had not elicited the issuance of any specific bulletin by RSMC La Reunion, unlike disturbance n°02, it had nevertheless been the more significant, on account of its influence on the inhabited lands, since it had brought beneficial rains to the dried out lands of the islands of the Mascarene Archipelago. (see imagery and details in the special insert pages 18-19).*

*As a result of their too zonal tracks, neither disturbance could benefit from favourable conditions to develop, as they remained to the north of the upper ridge, in a far too hostile environment in terms of vertical windshear. Owing to a more southwestward trajectory, system n°03 was to meet with a different fate : crossing this time the axis of the upper ridge, it was to take advantage of the narrow time window of favourable conditions, to develop swiftly and become severe tropical storm BOLDWIN.*

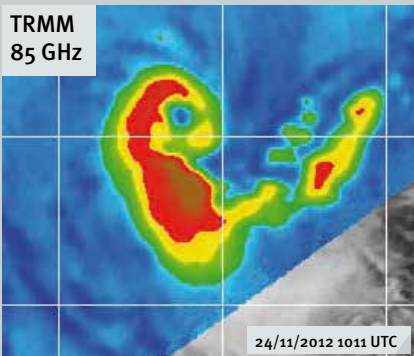
*However it too made a laborious start. Monitored from 19 November over the*

*eastern part of the basin, the associated zone of disturbed weather found it difficult to get organized. Even if from one day to the other there was a slight improvement in the general appearance of the cloud configuration and of the related convective activity, the evolution was very slow. Initially detected within the near-equatorial trough around 8°South/88°East, the associated low centre evolved, just like its predecessors, to the north of the upper ridge and remained subjected to a moderate vertical windshear, first from the southeast, then from the east. But unlike its precursors, its west-southwestward motion drove it, slowly but surely, close to the axis of the upper ridge.*

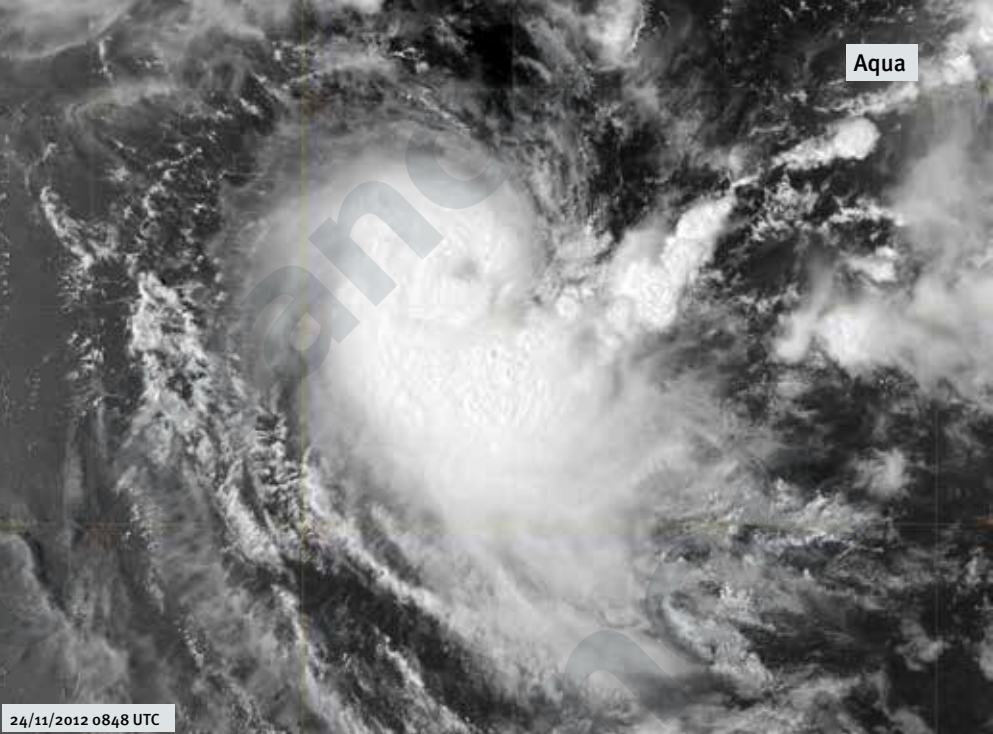
*Between 21 November and the morning of 22, a major step was taken : the convective activity, up to then considerably scattered, had clumped together and become more compact. Vorticity had strengthened at the same time, with cloud bands now displaying a prominent curvature on the satellite imagery. Upper divergence looked more and more favourable and no more indication could be detected of any windshear, although the CIMSS data indicated the persistence of a moderate easterly constraint. However, the downright improvement concerning the structure of the cloud system had not yet had any repercussion on the clockwise circulation at the surface, as testified by the successive Ascat and Oceansat swaths, whose wind data derived from their scatterometer radar data, did not show any significant deepening of the low circulation, with winds that remained extremely weak near the centre.*

*During the first part of 23 November, there was no further improvement of the cloud structure. On the contrary. Very promising the day before, with a rather typical pre-genesis configuration, it looked rather degraded. It was difficult to account for that lack of reaction of the system to the ongoing improvement of its environmental conditions. Owing to the fact that it carried on moving towards the west-southwest, it was actually about to cross latitude 12°South and henceforth found itself under the upper ridge, with a weakening windshear and a situation which seemed to be propitious to development, all the more so as an excrescence of warm water towards the south, ahead of the forecast trajectory, should enable it to keep on moving along isotherm 28°C for quite a while. It was only at the end of the afternoon that the dim signs of the beginning of something could at last be noticed : an incipient low-level circulation was sketched out on the satellite imagery via*





**BOLDWIN** peu avant son maximum d'intensité. Malgré un œil évanescent sur l'imagerie visible, l'imagerie micro-onde TRMM infirme l'impression que le météore aurait commencé de périlcliter, mais, atteste que, bien au contraire, il est sur le point d'atteindre son apogée.



**BOLDWIN** shortly before reaching its maximum of intensity. In spite of an evanescent eye on the visible imagery, the TRMM microwave imagery denied the impression that the meteor may have started to deteriorate, but testified that, quite on the contrary, it was about to reach its climax.

the low clouds which were present, followed right afterwards by an outburst of convection near the low pressure centre. But during the first part of the ensuing night, that incipient evolution was scarcely confirmed, so that the system remained ranked as a simple tropical disturbance. Only during the second part of the night did cyclogenesis eventually trigger off brutally.

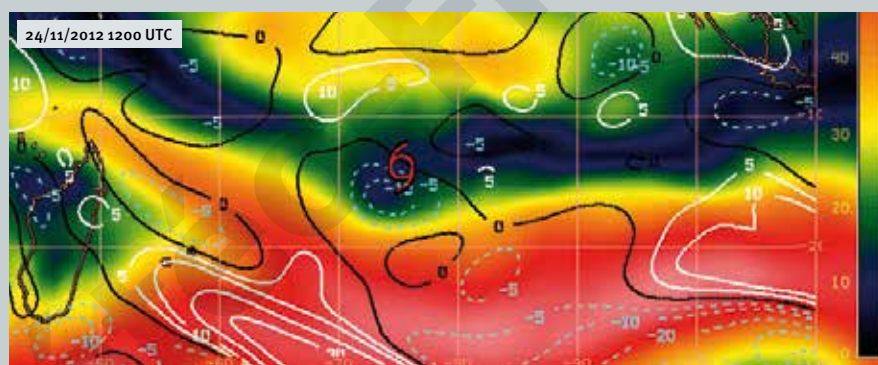
## EVOLUTION

The rocket-like **BOLDWIN**'s "liftoff" was to be all the more surprising for its violence as it had to cope with ignition delay. Doubling its efforts to make up for wasted time, the meteor went through a spectacular evolution of its structure and its intensity during the next 12h. The first part of that evolution (including cyclogenesis), between the end of the night and the beginning of 24 November, was the most vigorous. Favoured by the small size of the meteor, that rapid intensification phase resulted, within the space of only a few hours, in the formation of an eye on the microwave imagery and of a ragged embryonic eye on the visible imagery. The greatest cloud definition was displayed a little after midday on 24 November on that same visible imagery, with this time a banding eye that was clear-cut, but fleeting, as it became evanescent right afterwards and vanished in the afternoon. But the nice appearance still exhibited on the microwave imagery during the afternoon (see TRMM image above), suggested that maximum intensity had certainly been reached at that time, whereas the eye was already fading on the visible imagery. Dvorak's constraints had to be broken to allow a gain of two points on the corresponding intensity scale within the space of 18h only. **BOLDWIN** was then ranked as a severe tropical storm.

But the soufflé was to fall flat as quickly as it had risen. As a matter of fact, the intensity peak was followed by the hastened decay of the meteor, almost as fast as its gain in intensity had been. But while the intensification phase had been surprising for its explosive as well as late start (so much so as one began not to believe in it any more, since the favourable time window was shrinking), the weakening phase was conversely much expected. As it kept moving, not very fast – hardly more than 10 km/h – towards the southwest, **BOLDWIN** had reached the western end of the upper ridge and underwent the influence of a strengthening northwesterly flow ahead of a trough of mid and high troposphere. The induced enhancing vertical windshear soon impacted a cloud system whose small size made it

very vulnerable. In spite of a notable resistance of the convective activity, which succeeded in persisting in the vicinity of the low centre, giving an illusion regarding the real intensity of the system, the weakening process was inexorable. From midday on 25 November, the low-level circulation was no longer discernible, as shown on the TRMM microwave imagery, and **BOLDWIN** was to dissipate rapidly during the following night.

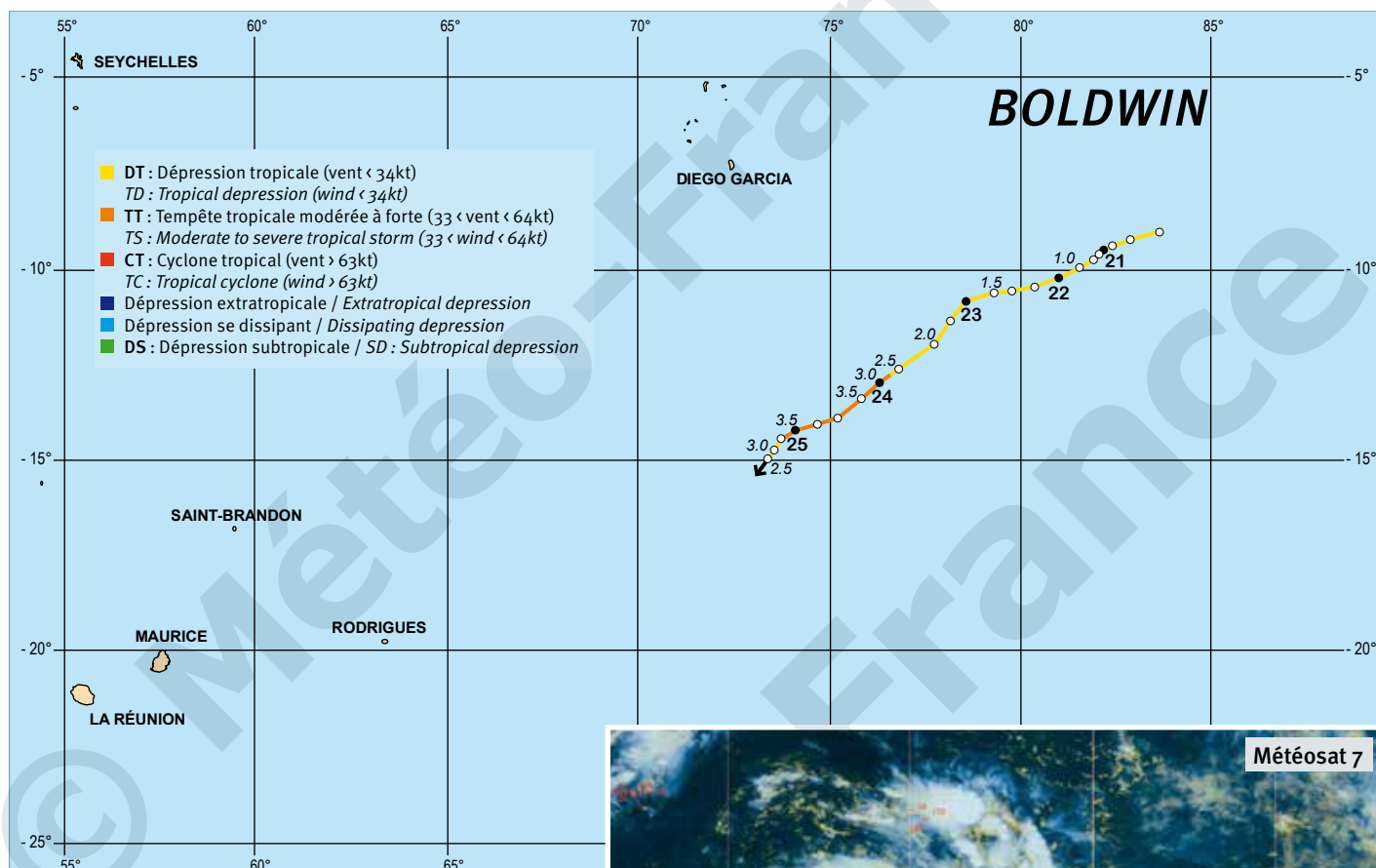
A very short-lived storm, barely 48h with significant intensity, **BOLDWIN** whizzed past so to speak. It no sooner appeared than it vanished. In spite of that it took more advantage than expected of the narrow time window favourable to development that was granted to it.



**BOLDWIN**, où comment tirer le meilleur parti d'une petite "fenêtre de tir" de conditions favorables. Cette carte de cisaillement vertical de vent (plages colorées) et de tendance de cisaillement de vent sur 24h (isolignes) élaborée par le CIMSS à partir des vents satellite, illustre mieux que n'importe quel discours le fait que **BOLDWIN** n'a dû son existence qu'à une petite fenêtre d'opportunité de cisaillement de vent faible (matérialisée par la petite zone en bleu présente autour du symbole cyclonique figurant la tempête tropicale).

**BOLDWIN**, or how to get the most one can out of a narrow window with favourable environmental conditions. This map of vertical windshear (set by coloured ranges) and of 24h windshear tendencies (isolines) elaborated by the CIMSS from the satellite driftwinds, illustrates better than any speech the fact that **BOLDWIN** owned its existence only to a small time window of opportunity of weak vertical windshear (materialized by the small blue zone around the cyclone symbol featuring the tropical storm).

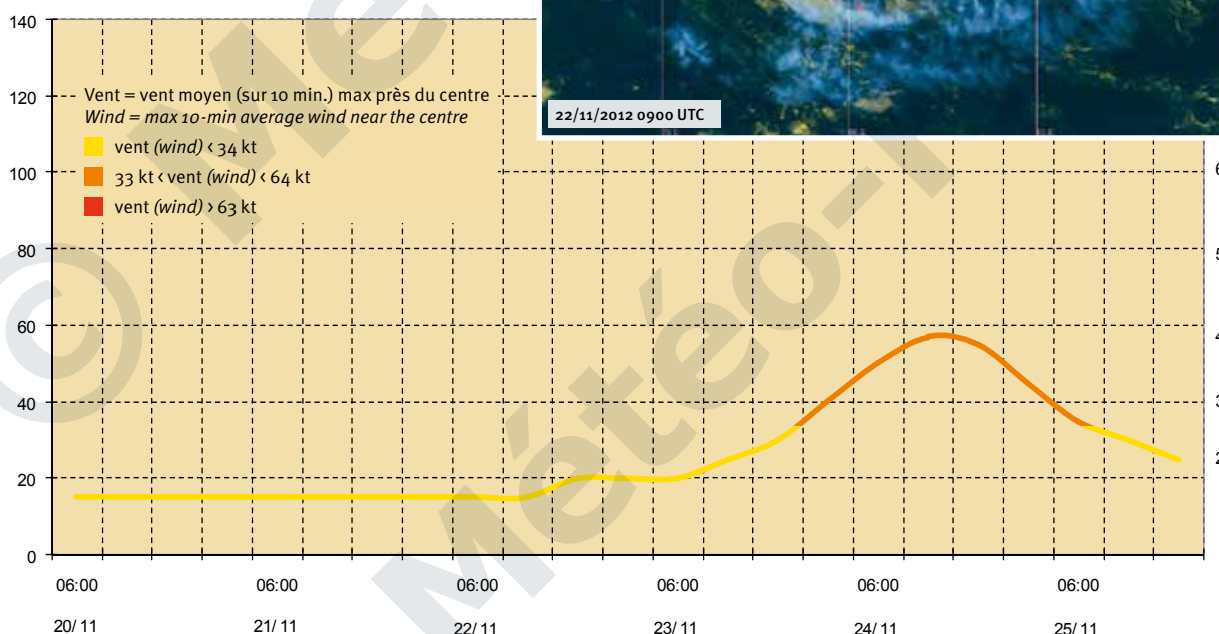




**Pré-genèse de BOLDWIN.** Configuration nuageuse assez caractéristique d'une situation de pré-genèse, avec une divergence d'altitude qui apparaît visuellement bonne et une vorticité déjà bien affirmée par les courbures nuageuses affichées.

**BOLDWIN's pre-genesis.** A rather characteristic cloud configuration of a pre-genesis situation, with an upper divergence which looked visually good and an enhanced vorticity, as already well highlighted by the displayed cloud curvatures.

**BOLDWIN du 20/11 au 25/11/2012**



**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)**

# Claudia

## Cyclone Tropical Intense

du 01 au 13 décembre 2012

*Intense Tropical Cyclone "Claudia" (01-13 December 2012)*



### FORMATION

A

près le bref épisode BOLDWIN intervenu durant la dernière décade du mois de novembre, le répit va être de courte durée sur le Sud-Ouest de l'Océan Indien. Et c'est d'ailleurs du même secteur extrême Nord-Est du bassin que va rapidement poindre le système dépressionnaire suivant, avec une cyclogenèse qui va s'avérer cependant tout aussi laborieuse que celle de son prédécesseur, mettant plusieurs jours à se concrétiser.

Le 1<sup>er</sup> décembre, les deux orbites Oceansat survolent la zone d'intérêt et les champ de vents dérivés des données diffusiométriques acquises lors de ces deux fauchées, indiquent l'existence d'une circulation dépressionnaire fermée, avec le minimum dépressionnaire associé positionné en limite orientale de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion, au voisinage du 6<sup>ème</sup> parallèle Sud. Même si l'activité convective correspondante demeure totalement inorganisée à ce stade, cette zone perturbée est d'ores et déjà considérée comme suspecte. Car les modèles numériques prévoient à échéance de quelques jours le creusement de ce minimum dépressionnaire, en phase avec l'établissement d'un flux de mousson à l'est de 75°Est, à même d'améliorer la convergence de basses couches du côté équatorial.

Il est toutefois un paramètre crucial qui apparaît pour l'instant défavorable à la cyclogenèse, et qui justifie probablement le délai de plusieurs jours envisagé par les modèles numériques, à savoir le cisaillement vertical de vent, de secteur est assez fort, qui sévit au nord de la dorsale d'altitude. Dans cette configuration, on ne peut plus classique, il ne

faut donc pas s'attendre à une évolution rapide. Entre le 2 et le 3 décembre, les données diffusiométriques Ascat prennent opportunément le relais des données Oceansat et permettent de continuer de suivre au mieux la progression, irrégulière en direction de l'ouest-sud-ouest, du minimum dépressionnaire, de même que l'évolution du champ de vents alentour. Elles montrent ainsi que la convergence de basses couches tend, comme attendu, à s'améliorer du côté nord, avec un flux d'ouest équatorial qui devient moins zonal, se traduisant de facto par l'amorce de l'établissement d'une d'orientation trans-équatoriale du flux.

Dans la nuit du 2 au 3, une première poussée de convection est observée au cœur de la circulation dépressionnaire. Elle n'est pas durable, mais laisse en héritage un petit vortex convectif de méso-échelle, parfaitement visible en journée du 3, car totalement exposé au milieu de l'activité nuageuse résiduelle associée à la zone perturbée (voir image page 26). Si l'on se réfère au modèle conceptuel de cyclogenèse proposé par R. Zehr, toute la question est maintenant de savoir si une deuxième poussée de convection va pouvoir se produire dans un délai raisonnable (2-3 jours idéalement) au-dessus de ce vortex résiduel. Cela va dépendre en partie de l'évolution du cisaillement vertical de vent. Si celui-ci perdure trop longtemps, il peut être à même de contrecarrer toute tentative de mise en phase d'activité convective avec le vortex, ce qui ferait avorter tout le processus de cyclogenèse. Et clairement, ce n'est pas gagné. Car si l'axe de la dorsale d'altitude est positionné vers 10°Sud en ce 3 décembre (le minimum dépressionnaire évoluant pour sa part

vers 7°Sud), il est prévu migrer vers le sud, pour se situer quasiment vers 15°Sud deux jours plus tard, ce qui implique la persistance durable d'une contrainte cisailée importante au niveau du système dépressionnaire embryonnaire. C'est donc très logiquement que celui-ci va végéter dans l'intervalle, présentant une configuration cisailée classique à l'imagerie satellitaire, avec une convection maintenue déphasée à l'ouest du minimum dépressionnaire.

A la faveur d'un déplacement temporairement plus méridien, celui-ci franchit le 10<sup>ème</sup> parallèle Sud en première partie de nuit du 4 au 5, puis la trajectoire s'infléchit graduellement plus ouest au cours des 24h suivantes, le système se mettant à circuler assez rapidement le long de la face nord des hautes pressions subtropicales (avec un déplacement à 25-30 km/h), avant de ralentir et d'adopter un cap presque sud-ouest en milieu de nuit du 5 au 6. Le début de journée du 6 marque un tournant décisif pour la perturbation embryonnaire, dont le minimum dépressionnaire associé, estimé à 1001 hPa, vient de passer au sud du 12<sup>ème</sup> parallèle Sud. A cette latitude, la contrainte cisailée commence, en effet, à se relâcher, ce qui va permettre à l'activité convective de graduellement se rapprocher du centre de la circulation de basses couches. Visuellement, la différence est nette par rapport aux jours précédents : le système présente une signature satellitaire autrement plus prometteuse, avec une activité convective plus fournie près du centre, et qui présente désormais des signes de courbures, tandis que l'épanchement de cirrus pour la première fois exhibé dans le secteur est du système nuageux, matérialise à la fois la baisse du cisaillement et l'amélioration induite de la divergence d'altitude de ce côté du système (alors qu'elle était déjà très bonne dans les autres secteurs).

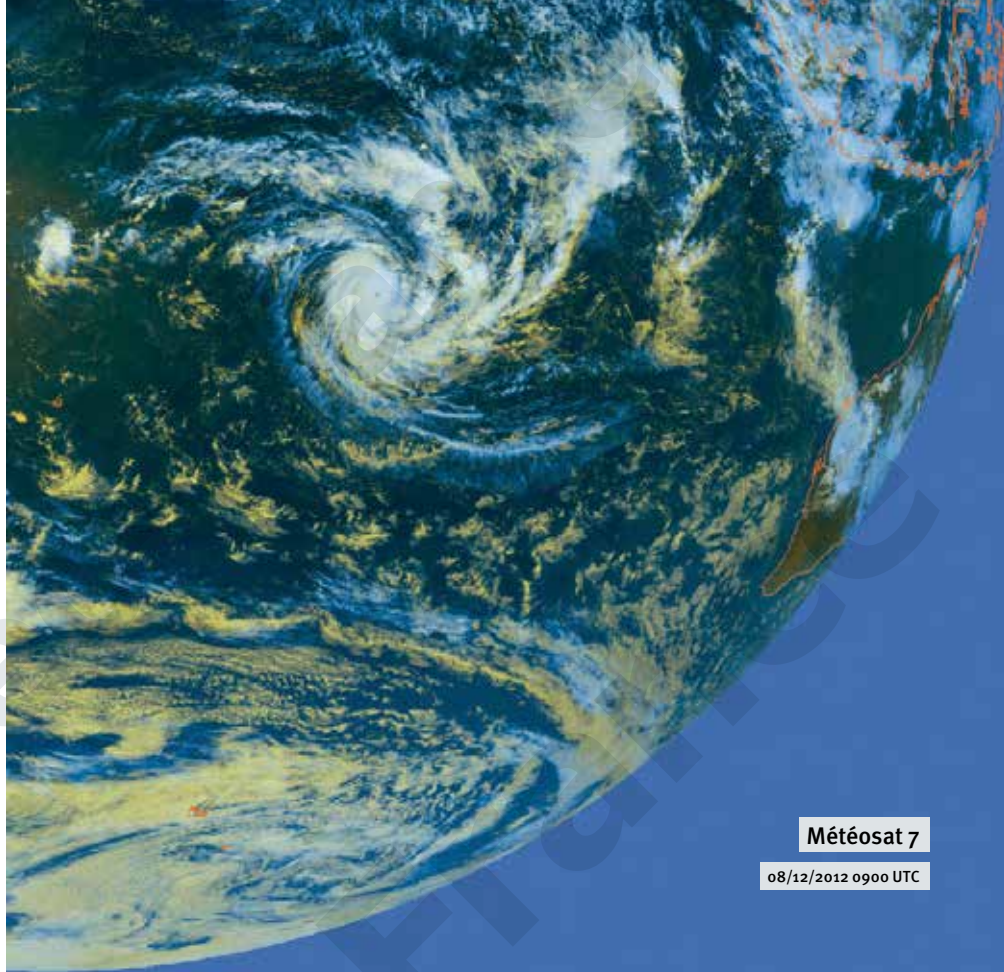
Cette amélioration de la signature nuageuse ne se répercute toutefois pas de manière homologue en terme de creusement de la circulation dépressionnaire et de renforcement du champ de vents en surface, avec une évolution qui demeure lente. Et si le gain observé est suffisant pour autoriser le classement du système n°04 en dépression tropicale, en fin de journée de ce 6 décembre, une douzaine d'heures sera encore nécessaire pour que le stade de tempête tropicale modérée soit atteint, suite à la mise en phase effective de la convection et du minimum dépressionnaire intervenue dans la nuit du 6 au 7. Le couplage réalisé, le système va enfin pouvoir prendre son essor.



## EVOLUTION

La finalisation du difficile processus de cyclogénèse de CLAUDIA marque, en effet, le début d'une nouvelle ère pour la perturbation, dont le centre se rapproche du 14<sup>ème</sup> parallèle Sud. A la faveur de la baisse du cisaillement vertical de vent, désormais inférieur à 10 nœuds, une période de franche intensification commence dans la foulée, au matin du 7 décembre. Elle va durer 36 heures. La structure en bande incurvée affichée en début de journée autour du petit cœur central de quelque 150 km de diamètre, s'améliore progressivement, jusqu'à se refermer et constituer un œil la nuit suivante, encore très grossièrement défini sur l'imagerie infrarouge, mais suffisant pour justifier un classement au stade minimal de cyclone tropical à l'aube du 8 décembre.

Depuis la veille, CLAUDIA ne progresse plus que lentement (toujours en direction générale du sud-ouest), après avoir vu sa course abruptement freinée au moment du baptême. Et comme les hautes pressions subtropicales continuent de s'affaïsser au sud, le flux directeur devient de plus en plus "mou" et la vitesse de déplacement fléchit encore en ce début de journée du 8, oscillant dès lors entre 3 et 8 km/h au cours des 48h suivantes. C'est donc au ralenti que le météore poursuit sa progression, sur une trajectoire qui va devenir franchement méridienne le lendemain, ce cap plein sud étant la conséquence attendue du décalage de la cellule de hauts géopotentiels relatifs du sud-est à l'est de la circulation dépressionnaire. Malgré cela, plus de 48h seront nécessaires pour voguer du 14<sup>ème</sup> au 16<sup>ème</sup> parallèle Sud, CLAUDIA parcourant moins de 240 km à vol d'oiseau durant ce laps de temps. Cette lente dérive aurait pu s'avérer pénalisante pour le météore, un refroidissement océanique trop important induit par lent déplacement, étant susceptible de pouvoir affecter sérieusement son alimentation énergétique. Mais il n'en sera rien, car, d'une part, le phénomène ne stationne pas complètement sur place, continuant d'avancer, même au pas, et il évolue, en outre, pour quelques heures encore, à proximité sud-est d'une zone à fort contenu énergétique océanique, suffisamment robuste pour pouvoir résister assez bien à l'impact du passage du cyclone. Si bien que CLAUDIA continue imperturbablement sur la lancée de son développement initial : loin de ralentir, l'intensification s'accélère même au contraire et le météore gagne un point et demi en 12 heures sur l'échelle d'intensité de Dvorak au cours de cette journée du 8 décembre.



Météosat 7

08/12/2012 0900 UTC

**CLAUDIA, quelques heures après avoir atteint le stade de cyclone tropical.** Le météore bénéficie d'une bonne divergence d'altitude, comme en témoigne l'épanchement des cirrus (nuages fins bleutés), du côté sud en particulier, avec une configuration classique à deux canaux d'évacuation du flux sortant d'altitude.

**CLAUDIA, a few hours after reaching the stage of tropical cyclone.** The meteor was taking advantage of a good upper divergence, as attested by the blowing off of the cirrus clouds (thin, bluish clouds on the image), on the southern side in particular, with a classic dual upper outflow channels pattern.

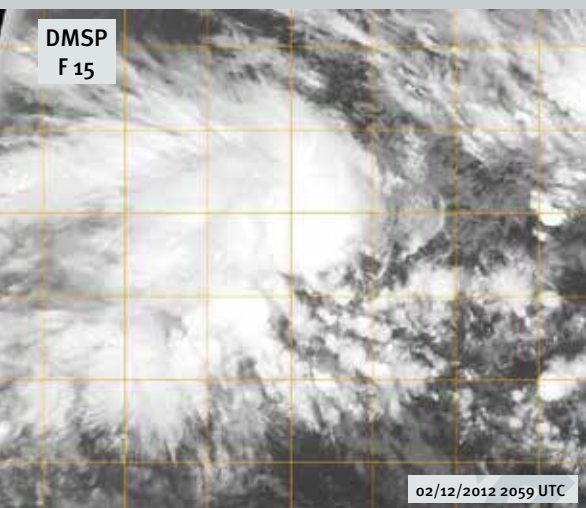
## FORMATION

*After BOLDWIN's brief episode, which had taken place during the last ten days of November, the respite was short-lived over the South-West Indian Ocean. Besides, the next system would soon emerge from the same far northeastern sector of the basin, with a cyclogenesis that was going to prove as laborious as that of its predecessor, as it took several days to materialize. On 1 December, the two Oceansat orbits passed over the area of interest and the windfield derived from the scatterometer data acquired during the two swaths indicated the existence of a closed clockwise circulation, with an associated low positioned at the eastern border of the RSMC La Reunion's area of responsibility, in the vicinity of latitude 6°South. Even though the corresponding convective activity remained totally unorganized at that stage, that disturbed area was already considered as suspect. Because the numerical models forecast the deepening of the low within a few days, in phase with the settling of a monsoon flow to the east of longitude 75°East, in a pattern likely to improve the low-level convergence equatorward.*

*However, there was one essential parameter which, for the time being, appeared to be unfavourable to cyclogenesis, and which probably justified the several days' delay envisioned by the numerical models, namely the rather strong easterly vertical windshear, which was present to the north of the upper ridge. In such a configuration, quite common indeed, a fast evolution could not be expected. Between 2 and 3 December, the Ascát scatterometer data opportunely took over the Oceansat data and made it possible to go on monitoring at best both the irregular progression of the low towards the west-southwest, and the evolution of the windfield around. Thus they showed that the low-level convergence tended, as expected, to improve northward, with a westerly equatorial flow which was becoming less zonal, resulting de facto in the incipient settling of a trans-equatorial orientation of the flow. During the night of 2 to 3 December, a first convective outburst could be observed within the core of the clockwise circulation. It did not last long, but as a legacy left behind it a small meso-scale convective vortex that was clearly visible during the day of 3 December, as it was totally exposed within the residual*

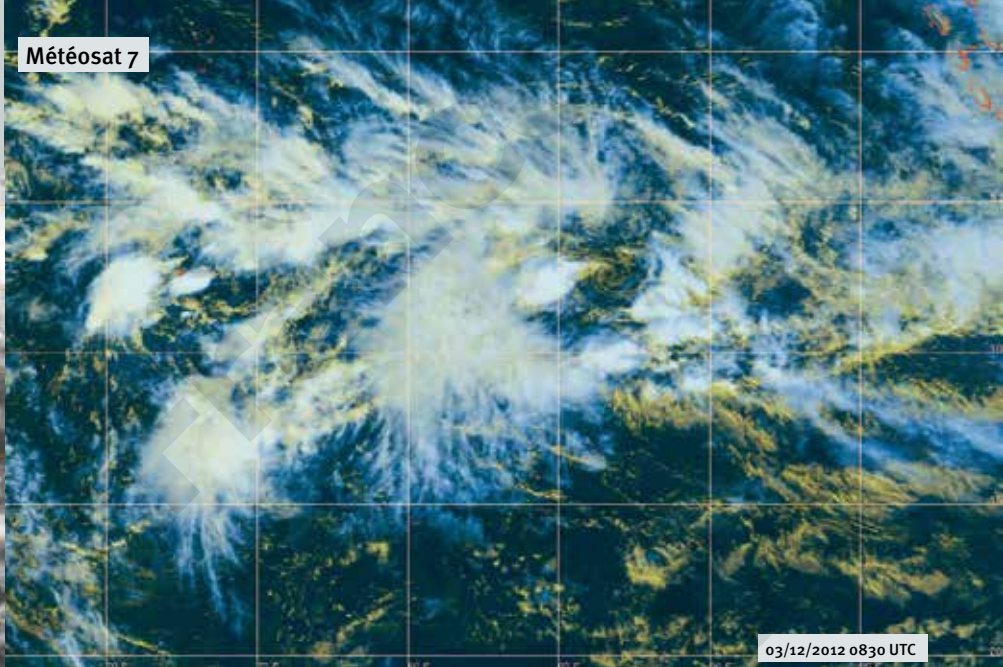


DMSP  
F 15



02/12/2012 2059 UTC

Météosat 7



03/12/2012 0830 UTC

**Pré-genèse de CLAUDIA à l'est des Chagos.** Suite à la poussée de convection intervenue la nuit précédente (cf. image infrarouge), un petit vortex convectif de méso-échelle a été généré, à plus de 1500 km à l'est de l'atoll de Diego Garcia. Dans un contexte fortement cisaillé d'est, le vortex, enchâssé au sein du talweg proche-équatorial, apparaît entièrement exposé au milieu de l'activité convective environnante. La formation de ces vortex convectifs est reconnue jouer un rôle important dans les processus de cyclogenèse, servant en quelque sorte de semence initiale à partir de laquelle va se construire le cœur de la future perturbation.

**CLAUDIA's pre-genesis to the east of the Chagos Archipelago.** Following the outburst of convection that had taken place the previous night (cf. infrared image), a small meso-scale convective vortex was generated more than 1500 km away to the east of the Diego Garcia atoll. In a strongly easterly sheared context, the vortex embedded in the near-equatorial trough appeared totally exposed within the surrounding convective activity. The formation of those convective vortices is known to play an important part in the cyclogenesis process, acting as the initial seeding from which the core of the future disturbance will build.

cloud activity associated with the area of disturbed weather (see image above right). If one referred to the cyclogenesis conceptual model proposed by R. Zehr, the main question was then to know if a second convective outburst could take place within a reasonable delay (ideally 2-3 days) above the residual vortex. That would partly depend on the evolution of the vertical windshear. If the latter was to last too long, it could thwart all attempt of coupling between the convective activity and the vortex, which would cause all the cyclogenesis process to fail. And that was not clearly self-evident. Because if the upper ridge axis was positioned around latitude 10°South on 3 December (while the low was evolving as to it around latitude 7°South), it was expected to migrate towards the south, to shift to almost 15°South two days later, which implied the lasting persistence of a significant sheared constraint above the embryonic low system. Logically, the latter would therefore stagnate during this period, exhibiting a classic sheared configuration on the satellite imagery, with a convection that was maintained decoupled to the west of the low.

Owing to a temporary more meridian-like motion, the low crossed latitude 10°South during the first part of the night of 4 to 5 December, then its trajectory gradually bent more westward during the ensuing 24h, as the system began to move at a rather fast speed along the northern side of the subtropical high (with a motion speed of 25-30 km/h), before slowing down and shifting heading almost southwestward in the middle of the night

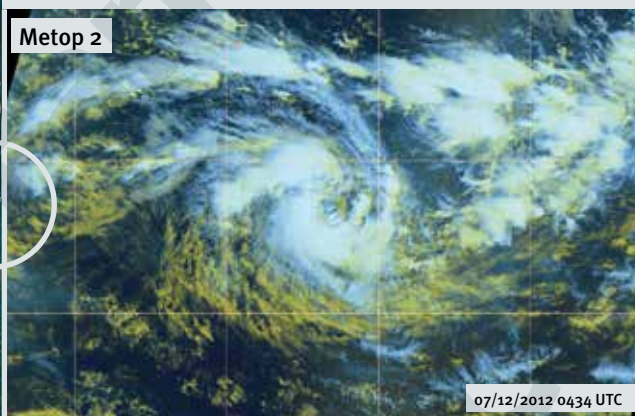
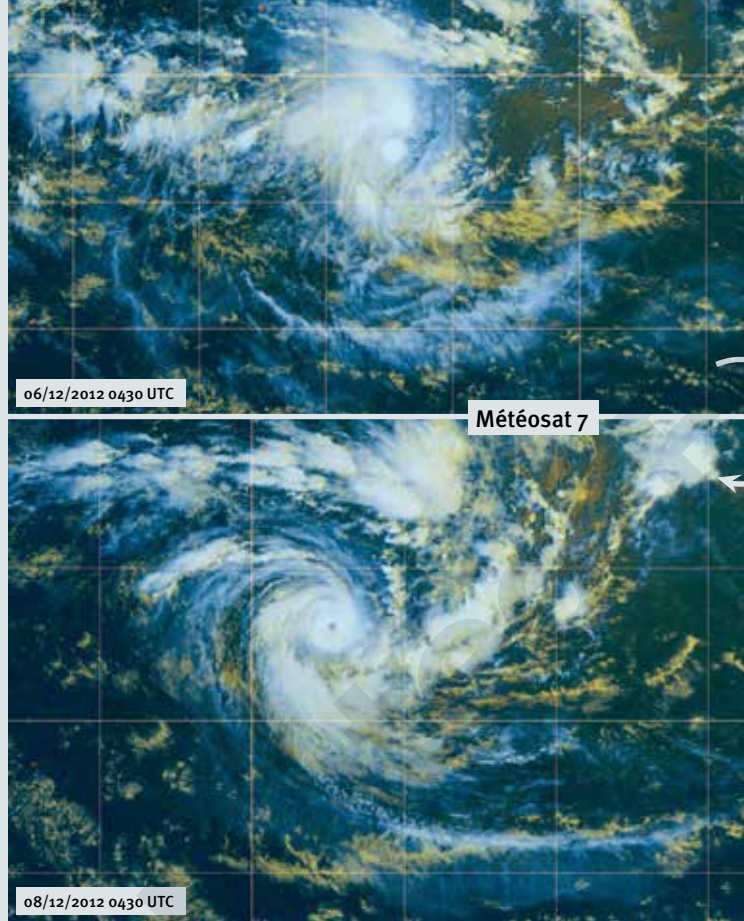
of 5 to 6 December. The beginning of 6 December was a decisive moment for the embryonic disturbance, whose associated low, estimated at 1001 hPa, had just crossed latitude 12°South. As a matter of fact, at that latitude, the sheared constraint began to relax, which enabled the convective activity to gradually get closer to the centre of the low-level circulation. Visually, there was a definite difference compared to the previous days: the system exhibited a far more promising satellite signature, with a more substantial convective activity near the centre, which henceforth showed signs of curvatures, while the fanning of the cirrus which was exhibited for the first time in the eastern sector of the cloud system, materialized both the weakening of the shearing constraint and the induced improvement of the upper divergence on that side of the system (whereas it was already very good in the other sectors). However the improvement of the cloud signature was not reflected in a similar way in terms of deepening of the clockwise circulation and of related strengthening of the surface windfield, with an evolution that remained slow. And if the gain observed was sufficient to allow system n° 04 to be ranked as a tropical depression, towards the end of 6 December, another 12 hours would still be necessary for the stage of moderate tropical storm to be reached, following the actual phasing of the convection and the low-level circulation centre, which took place during the night of 6 to 7 December. Once the coupling had been achieved, the system could at last kick off.

La considération de ces seules intensités Dvorak aurait normalement dû valoir au météore d'être classé en cyclone tropical intense en fin de journée. Mais au vu des intensités estimées à partir des données AMSU-A et de la structure peu impressionnante affichée sur l'imagerie micro-onde, qui montre que le mur de l'œil n'est toujours pas parvenu à bien se constituer dans sa portion est à sud-est (cette importante faiblesse dans l'organisation du cœur central du système étant présente depuis la veille), l'intensité de CLAUDIA est finalement limitée à 85 nœuds (en vents moyens maximaux sur 10 minutes).

Au matin du 9 décembre, la configuration demeure peu ou prou inchangée sur l'imagerie micro-onde, avec toujours un œil "ouvert" en canal 85 GHz sur la fauchée matinale du satellite TRMM, la pérennité de cette grosse entaille dans la partie sud-est du mur de l'œil dénotant peut-être la persistance d'une ventilation d'est dans les couches moyennes supérieures de la troposphère. L'intensité est, en conséquence, maintenue stationnaire. Pour l'instant. Car la tendance ne semble pas incliner à devoir pencher vers un supplément d'intensité : la signature nuageuse s'est, en effet, dégradée sur l'imagerie satellitaire classique, depuis le premier pic d'organisation observé en début de nuit du 8 au 9. Et malgré un mieux temporaire constaté en ce début de journée du 9, la tendance au déclin de la prestance du météore se prolonge ensuite jusque dans l'après-midi.

CLAUDIA, qui a franchi en début de matinée le 15<sup>ème</sup> parallèle Sud, se situe pourtant maintenant directement sous l'axe de la





**Cyclogenèse, puis développement rapide de CLAUDIA.** En 48 heures, le météore est passé du stade de simple perturbation tropicale au stade de cyclone tropical, via notamment la case tempête tropicale modérée (au matin du 7 décembre), une intensification pas exceptionnelle en soi, mais qui correspond tout de même à un taux de développement supérieur à la norme climatologique.

**CLAUDIA's cyclogenesis, then fast development.** Within 48 hours, the meteor was upgraded from the stage of mere tropical disturbance to that of tropical cyclone, via that of moderate tropical storm in particular (in the morning of 7 December). That intensification had nothing exceptional about it, but it corresponded all the same to a rate of development that was above the climatological norm.

dorsale d'altitude et devrait être à même de tirer parti des meilleures conditions atmosphériques environnementales dont il ait bénéficié jusque là, avec en particulier une excellente divergence d'altitude. Comme cela ne semble pas être le cas, on est en droit de se demander si une intensification est encore possible, d'autant plus que la fenêtre de conditions "optimales" ne devrait pas tarder à se refermer définitivement... D'abord pour des raisons énergétiques. En effet, sur la trajectoire plein sud suivie, le contenu énergétique océanique sous-jacent ne va pas tarder à chuter rapidement, avec l'isotherme 26.5°C de température de surface de la mer qui se situe en ce début de saison vers 17°Sud, sur cette partie du bassin.

C'est donc plutôt une surprise que de voir une seconde phase d'intensification assez marquée débiter en soirée du 9. Bien que limitée à quelques heures seulement, elle va suffire à mener le système jusqu'à son maximum d'intensité, atteint peu avant le milieu de nuit du 9 au 10.

En fait, cette phase d'intensification n'est mise en exergue que sur l'imagerie classique, infrarouge en l'occurrence, avec des intensités Dvorak qui connaissent un fort rebond. Car l'imagerie micro-onde, et c'est là son irremplaçable apport, donne une vision assez différente, et au final bien plus éclairante, permettant de relativiser et de tempérer sérieusement l'impression quelque peu biaisée laissée par l'imagerie infrarouge. On y constate, en effet, que cette phase "d'intensification" coïncide avec le déclenchement d'un cycle de remplacement du mur de l'œil,

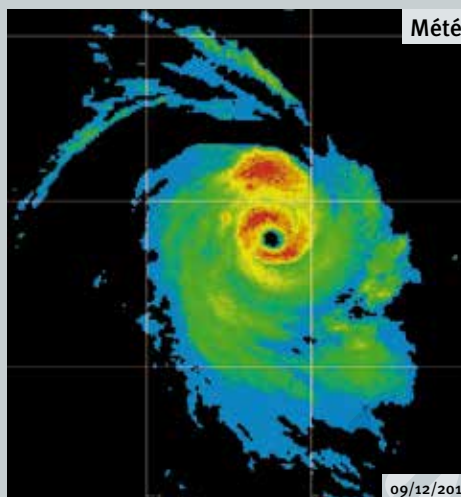
## EVOLUTION

*As a matter of fact, the finalisation of CLAUDIA's difficult cyclogenesis process was the beginning of a new era for the disturbance, whose centre was drawing closer to latitude 14°South at the time. Owing to the lessening of the vertical windshear, henceforth below 10 knots, a period of brisk intensification started just afterwards, in the morning of 7 December. It was going to last 36 hours. The curved band pattern displayed at dawn around the small central core of some 150 km in diameter, gradually improved and coiled increasingly, until it closed and formed an eye during the following night. It was still coarsely defined on the infrared imagery, but enough to justify a ranking at the minimal stage of tropical cyclone at dawn on 8 December.*

*Since the day before, CLAUDIA had been moving only sluggishly (still southwestward), after its course had been abruptly slowed down at the time it was named. And as the subtropical high went on collapsing to the south, the steering flow became slacker and slacker and the motion speed decreased again at the beginning of 8 December, thereafter swinging between 3 and 8 km/h during the next 48h. Therefore the meteor carried on moving at slow pace, on a track which was to become straightforwardly meridian-like on the following day. That due south heading was the expected consequence of the shift of the cell of relative high geopotentials from the southeast to the east of the clockwise*

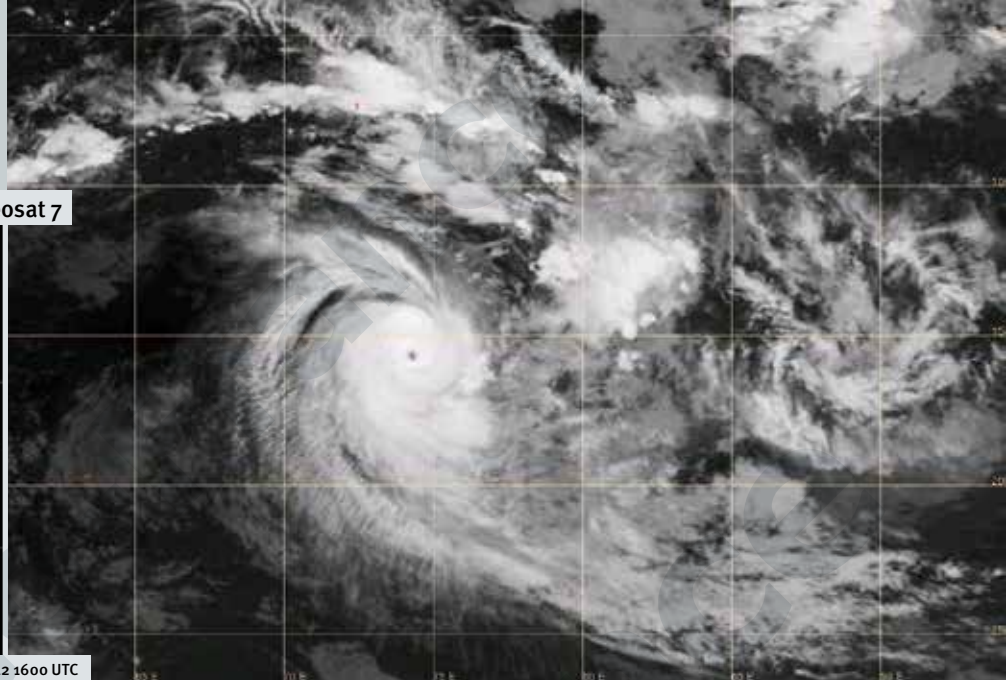
*circulation. In spite of that, more than 48h would be necessary for the meteor to sail from latitude 14° to 16°South, as CLAUDIA travelled less than 240 km as the crow flies during that lapse of time. That slow drifting might have proved to be penalizing for the meteor, as too drastic a cooling of the underlying ocean induced by the slow motion was likely to be able to seriously affect its energetic supply. But nothing of the sort happened, because, on the one hand, the phenomenon was not quite stationary on the spot, and went on moving, although at walking pace. On the other hand, it still evolved, for a few hours, in the southeast vicinity of an area of high ocean heat content, which was robust enough to be able to resist the impact of the passage of the cyclone rather well. So that CLAUDIA imperturbably continued to develop as it initially did : far from slowing down, on the contrary, the intensification process even accelerated and the meteor gained one and a half point in 12 hours on the Dvorak intensity scale in the daytime of 8 December. The consideration of those sole Dvorak intensities should have normally enabled the meteor to be upgraded to the stage of intense tropical cyclone at the end of the day. But in view of the intensities estimated from AMSU-A data and of the hardly impressive structure displayed on the microwave imagery, which showed that the eyewall had not yet managed to build in its eastern to southeastern portion (as that significant weakness in the organization of the inner core of the system had been present since the day before), CLAUDIA's*





Météosat 7

09/12/2012 1600 UTC



**CLAUDIA atteint son maximum d'intensité au stade de cyclone tropical intense.** Le produit MPE (Multi-sensor Precipitation Estimate), qui correspond à un taux de précipitations instantané estimé à partir des températures de brillance infrarouge (via une calibration avec les taux de précipitations dérivés de données micro-ondes SSMIS des satellites défilants DMSP), montre bien la structure affirmée du cyclone à cet instant, de son mur de l'œil en particulier. Il ne permet toutefois pas de reproduire correctement la structure fine du champ de précipitations, comme peut le faire l'imagerie micro-onde passive, qui, au même moment, appréhende mieux la présence de bandes convectives externes ayant commencé de s'enrouler autour du mur de l'œil interne, préfigurant le cycle de remplacement du mur de l'œil à venir (voir images page opposée), le maximum d'intensité de CLAUDIA correspondant au début de ce cycle de l'œil.

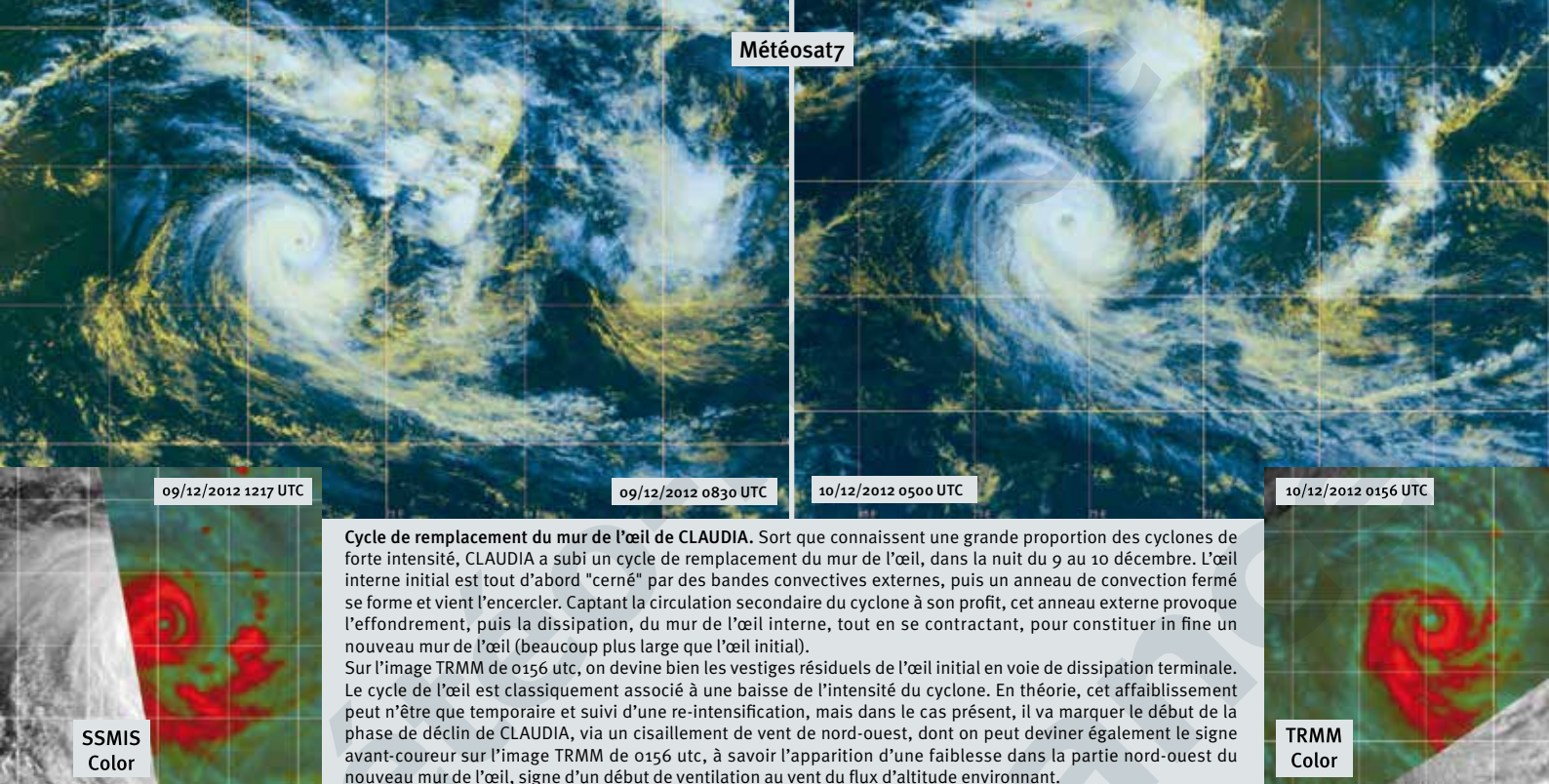
**CLAUDIA when reaching its maximum of intensity at the stage of intense tropical cyclone.** The MPE product (Multi-sensor Precipitation Estimate), which corresponds to the instantaneous precipitation rate estimated from the temperatures of infrared brightness (via a calibration with precipitation rates derived from SSMIS microwave data from the DMSP polar orbiting satellites), clearly showed the robust structure of the cyclone at that time, and of its eyewall in particular. Yet, it did not make it possible to reproduce correctly the fine structure of the precipitation field, as can be done with the passive microwave imagery. Indeed, the latter could, at the same time, better apprehend the presence of outer convective bands that have started to wrap around the inner eyewall, a configuration which foreshadowed the eyewall replacement cycle to come (see images on opposite page). CLAUDIA's maximum of intensity corresponded to the beginning of the eye cycle.

intensity was eventually levelled off at 85 knots (in maximum 10-min average winds). In the morning of 9 December, the configuration appeared more or less unchanged on the microwave imagery, with still an "open" eye on channel 85 GHz on the morning swath of the TRMM satellite. The durability of that wide gash in the southeastern portion of the eyewall maybe evidenced the persistency of an easterly ventilation in the upper-mid levels of the troposphere. Consequently, the intensity was held stationary. For the time being. Because there was no sign of any trend towards any further increase of intensity : quite the opposite since the cloud signature had actually been degrading on the classic satellite imagery, since the first peak of organization observed towards the beginning of the night of 8 to 9 December. And in spite of some temporary improvement noticed at dawn on 9 December, the tendency of the presentability of the meteor to decline then continued until later in the afternoon. Yet, CLAUDIA which had crossed latitude 15°South early in the morning, was then situated directly under the axis of the upper ridge and should have been able to take advantage of the best environmental weather conditions from which it had benefited up to then, with an excellent upper divergence in particular. As that did not seem to be the case, one was inclined to wonder if an intensification was still possible, all the more as it should not

take long for the time window of "optimal" conditions to close for good... For energetic reasons above all. As a matter of fact, along the due south trajectory followed by the meteor, the underlying ocean heat content was soon about to drop rapidly, with the 26.5°C isotherm of the sea surface temperature that was lying around latitude 17°South in this early season over that part of the basin. It was therefore rather surprising to see that a fairly marked second round of intensification had begun in the evening of 9 December. Although it lasted only a few hours, it was sufficient to lead the system to its maximum of intensity, which it reached a little before the middle of the night of 9 to 10 December. In fact, that bout of intensification was highlighted only on the classic imagery, infrared in that case, with Dvorak intensities which rebounded significantly. Because the microwave imagery, demonstrating once gain its invaluable contribution, gave a rather different vision, and ultimately far more enlightening, as it enabled one to relativize and seriously milder the somewhat biased impression left by the infrared imagery. As a matter of fact the microwave imagery showed that the "intensification" phase coincided with the setting off of an eyewall replacement cycle, whose harbingers were in fact already discernible as early as midday, even on the visible imagery, with the presence of an outer convective band that

dont les prémices étaient d'ailleurs déjà décelables dès le milieu de journée, même sur l'imagerie visible, avec la présence d'une bande convective externe ayant commencé de s'enrouler autour du cœur central, dans le demi-cercle ouest du système. Il est clair, dans une telle configuration, qu'une éventuelle période d'intensification doit forcément être circonscrite à la phase initiale du cycle de l'œil (en tout cas pour la perspective à court terme). Et au vu des images disponibles et de la chronologie associée, on est ainsi obligé d'en conclure que l'intensification a été plus limitée dans le temps, et donc également en ampleur, que ne le laissait accroire l'imagerie infrarouge. Car ce cycle de l'œil va être assez rapide, ne durant qu'une douzaine d'heures, et prenant fin en début de journée du 10 avec la disparition du mur de l'œil interne initial, supplanté par un nouveau mur de l'œil (quasiment deux fois plus large que l'œil antérieur, avec un diamètre moyen passant de 45 à 85 km). Au final, CLAUDIA a certes été promu au stade de cyclone tropical intense, mais avec des vents maximums moyennés sur 10 minutes plafonnés à 95 nœuds (ce qui implique des rafales maximales approchant tout de même les 250 km/h, le minimum de pression centrale étant pour sa part évalué à 940 hPa), avant un léger affaiblissement en deuxième partie de nuit, durant la phase "active" du cycle de remplacement du mur de l'œil.





**Cycle de remplacement du mur de l'œil de CLAUDIA.** Sort que connaissent une grande proportion des cyclones de forte intensité, CLAUDIA a subi un cycle de remplacement du mur de l'œil, dans la nuit du 9 au 10 décembre. L'œil interne initial est tout d'abord "cerné" par des bandes convectives externes, puis un anneau de convection fermé se forme et vient l'encercler. Captant la circulation secondaire du cyclone à son profit, cet anneau externe provoque l'effondrement, puis la dissipation, du mur de l'œil interne, tout en se contractant, pour constituer in fine un nouveau mur de l'œil (beaucoup plus large que l'œil initial). Sur l'image TRMM de 0156 utc, on devine bien les vestiges résiduels de l'œil initial en voie de dissipation terminale. Le cycle de l'œil est classiquement associé à une baisse de l'intensité du cyclone. En théorie, cet affaiblissement peut n'être que temporaire et suivi d'une re-intensification, mais dans le cas présent, il va marquer le début de la phase de déclin de CLAUDIA, via un cisaillement de vent de nord-ouest, dont on peut deviner également le signe avant-coureur sur l'image TRMM de 0156 utc, à savoir l'apparition d'une faiblesse dans la partie nord-ouest du nouveau mur de l'œil, signe d'un début de ventilation au vent du flux d'altitude environnant.

**Eyewall replacement cycle of CLAUDIA.** CLAUDIA met with the fate of a majority of cyclones of strong intensity. It underwent an eyewall replacement cycle during the night of 9 to 10 December. The initial inner eyewall was first surrounded by outer convective bands, then a ring of close convection formed and encircled it. Capturing the secondary circulation in its favour, that outer ring caused the inner eyewall to collapse, then to dissipate, as it shrunk to build a new eyewall in the end (much wider than the initial eye). On the TRMM image at 0156 utc, the residual relics of the initial eye in the process of dissipating for good can be clearly guessed. An eye cycle is classically associated with a decrease of the intensity of the cyclone. In theory, that weakening may only be temporary and followed by a re-intensification, but in the present case, it would mean the beginning of CLAUDIA's decay, via a northwesterly windshear whose harbinger can also be guessed on the TRMM image at 0156 utc, namely the appearance of a weakness in the northwestern part of the new eyewall, the sign of an incipient ventilation windward of the environmental upper flow.

Affaiblissement qui, en théorie, n'aurait pu être que temporaire, car potentiellement susceptible d'être suivi d'une phase de ré-intensification.

Mais rien de tel à l'arrivée. Dans les heures suivantes, la structure nuageuse ne dénote pas d'amélioration, le début de contraction du rayon des vents maximaux observé étant contrecarancé par une tendance au réchauffement des sommets nuageux, signe que la convection commence peut-être à pâtir de l'arrivée du météore sur des eaux plus fraîches (le centre de CLAUDIA ayant franchi le 17<sup>ème</sup> parallèle Sud peu après la mi-journée). En fin d'après-midi et soirée, on note toutefois un regain apparent de prestance du cyclone, avec des intensités Dvorak analysées qui remontent durant quelques heures. Mais là encore, il ne s'agit que d'une illusion trompeuse laissée par l'imagerie classique. Et l'imagerie micro-onde va de nouveau servir de révélateur et de juge de vérité. Et le verdict est sans ambiguïté, contredisant la pseudo-intensification suggérée par l'imagerie infrarouge. La faiblesse dépeinte au sein du nouveau mur de l'œil, cette fois-ci du côté nord-ouest, par l'imagerie TRMM, dès le début de journée de ce 10 décembre (voir image ci-dessus), a laissé place, sur l'imagerie TRMM suivante du début de nuit, à une configuration où la convection a totalement disparu dans la moitié nord du système. Cette "éventration" constitue la signature caractéristique d'un système ayant subi

had started to wrap around the central core, in the western semi-circle of the system. It was clear, in such a configuration, that a would-be period of intensification should inevitably be restricted to the initial phase of the eye cycle (for short range prospects in any case). In view of the available images and of the associated chronology, one could not but conclude that the intensification had been more limited in time, and therefore in magnitude too, than the infrared imagery suggested. Because that eyewall replacement cycle did not last very long, only about 12h or so, and it came to an end at the beginning of 10 December with the disappearance of the initial inner eyewall, replaced by a new eyewall (almost twice as wide as the first one, with an average diameter shifting from 45 to 85 km). Eventually, CLAUDIA was indeed upgraded to the stage of intense tropical cyclone, but with maximum 10-min average winds capped at 95 knots (which implied peak gusts of almost 250 km/h all the same, while the central pressure was evaluated at 940 hPa), before a slight weakening took place during the second part of the night, during the "active" phase of the eyewall replacement cycle. A weakening which, in theory, could have been only temporary, as it might potentially have been followed by a phase of re-intensification. But nothing of the kind happened. During the ensuing hours, the cloud structure did not show any improvement, the incipient

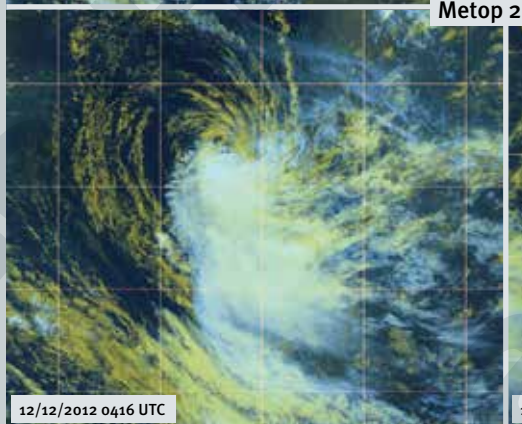
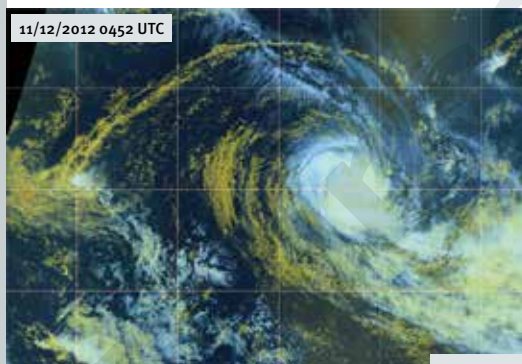
shrinking of the radius of maximum winds observed being counterbalanced by a tendency of the cloud tops to warm up, a sign that the convection maybe started to suffer from the arrival of the storm over cooler waters (as CLAUDIA's centre had crossed latitude 17°South a little after midday). However, towards the end of the afternoon and of the evening, the cyclone seemed to have regained some of its presentability, with analysed Dvorak intensities which resumed a rise for a few hours. But then again, it was nothing but a deceptive impression left by the classic imagery. And the microwave imagery would again be unrivaled to reveal and assess the truth. And the verdict was unambiguous, contradicting the pseudo-intensification suggested by the infrared imagery. The weakness depicted within the new eyewall, this time on the northwestern side, by the TRMM imagery, as early as the beginning of the day of 10 December (see image above), gave way, on the next TRMM imagery at the beginning of the night, to a configuration in which the convection had completely vanished in the northern half of the system. The fact that the eyewall was "ripped open" like this was the characteristic signature of a system which had undergone a significant ventilation, eventually in accordance with the incipient strengthening of the upper levels winds that was expected and already visible on the cloud drift winds displayed on



the CIMSS data in particular. Then the induced incipient increase of the vertical windshear amplified. Even though it was temporarily annihilated by the acceleration of the motion of the meteor (over 15 km/h towards the end of the night and at the beginning of 11 December), that did not question the assured weakening of the system, henceforth also testified by the infrared imagery, as the eye disappeared from the cloud structure during the night. Following the consolidation of the cell of high geopotentials anchored to the east of the cyclone, CLAUDIA had therefore regained speed, since the day before already. And the storm still accelerated progressively after midday, with a cruising speed exceeding 20 km/h towards the end of the afternoon of 11 December. That acceleration did not prevent the relative increase of the north westerly vertical windshear from continuing, as the meteor sank into the southern latitudes, to the southwest of the upper ridge. In conjunction with the continuous decrease of the energy supply, inherent to the progression of the meteor over cooler and cooler waters (below 25°C of surface temperature near latitude 20°South), it caused CLAUDIA to weaken gradually and to lose its status as a tropical cyclone before midday on 11 December.

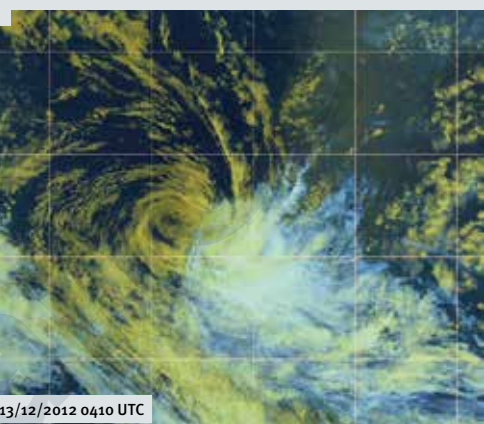
As it went on skirting around the mid-troposphere ridge, the storm crossed latitude 20°South during the afternoon and bent at the same time its trajectory towards the south-southeast. Very gradually, the cloud system assumed a more and more sheared pattern (see images above), until the centre of the low-level circulation began to become visible, in the morning of 12 December, exposed on the boundary of the residual convection. CLAUDIA had just been downgraded to the stage of moderate tropical storm, but kept still rather vigorous winds, near the threshold of storm force in the southeastern quadrant of the clockwise circulation. The system would keep tropical characteristics until the following night, when the convection was blown off for good, leaving the vortex of low and mid-level clouds totally exposed. The remnant low then filled at a more sustained pace as the day of 13 December went by, and dissipated during the next 24h in the subtropical domain, absorbed by the warm sector of a mid-latitude disturbance coming from the west.

As the second most intense cyclone of the season, but as the one which had the longest life-cycle at the stage of tropical cyclone (78 hours), CLAUDIA rather looked like a system of the heart of the season, also assuming a pseudo-parabolic track over the East of the basin, far from all inhabited lands.



Metop 2

Evolution de fin de vie classique pour CLAUDIA, avec affaiblissement graduel par cisaillement vertical de vent de nord-nord-ouest. La convection, qui recouvrait initialement la circulation de basses couches, se désagrège pour bonne part entre le 11 et le 12 décembre, laissant apparaître le centre dépressionnaire, avant d'achever de se volatiliser ensuite, pour dévoiler entièrement le vortex résiduel de nuages bas et moyens au matin du 13.



Typical evolution during the end of CLAUDIA's life-cycle, with a gradual weakening due to a north-northwesterly vertical windshear. The convection, which initially covered the low-level circulation, disintegrated to a large extent between 11 and 12 December, revealing the low centre, before it finished disappearing altogether then, thereby entirely unveiling the residual cloud vortex of low and mid-level clouds in the morning of 13 December.

une ventilation importante, finalement conforme au début de renforcement des vents en altitude attendu et déjà visible sur les vents satellite, affichés en particulier sur les données du CIMSS. Le début de hausse du cisaillement vertical de vent induit, s'accroît ensuite. Même s'il est temporairement annihilé par une accélération de la vitesse de déplacement du météore (plus de 15 km/h en fin de nuit et début de journée du 11), cela ne remet pas en cause l'affaiblissement acquis du système, désormais attesté également par l'imagerie infrarouge, l'œil disparaissant de la structure nuageuse dans la nuit.

Suite à la consolidation de la cellule de hauts géopotentiels sise dans l'est du cyclone, CLAUDIA a donc retrouvé de la vitesse de déplacement, depuis la veille déjà. Et le système accélère encore progressivement après la mi-journée, avec une vitesse de croisière excédant les 20 km/h en fin d'après-midi de ce 11 décembre. Cette accélération n'empêche pas la poursuite de la hausse relative du cisaillement vertical de vent de nord-ouest, à mesure que le météore s'enfonce vers les latitudes sud, au sud-ouest de la dorsale d'altitude. Se conjuguant à la baisse continue de l'alimentation énergétique du système, inhérente à sa progression sur des eaux de moins en moins chaudes (moins de 25°C de température de surface à l'approche du 20<sup>ème</sup> parallèle Sud), elle provoque l'affaiblissement progressif de CLAUDIA, qui perd son statut de cyclone tropical avant la mi-journée du 11.

Continuant de contourner la dorsale de moyenne troposphère, la tempête franchit le 20<sup>ème</sup> parallèle Sud dans l'après-midi et incurve au même moment en direction du sud-sud-est. Très graduellement, le système nuageux adopte une configuration de plus en plus cisailée (voir images ci-dessus), jusqu'à ce que le centre de la circulation de basses couches commence à apparaître à la vue, au matin du 12 décembre, exposé en bordure de la convection résiduelle. CLAUDIA vient tout juste d'être déclassé en tempête tropicale modérée, mais conserve des vents encore assez virulents, proches du seuil de la tempête dans le quadrant sud-est de la circulation dépressionnaire.

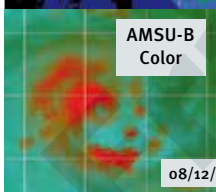
Le système va garder des caractéristiques tropicales jusqu'en cours de nuit suivante, moment où la convection est définitivement "soufflée", laissant le vortex de nuages bas et moyens totalement exposé. La dépression résiduelle se comble alors à un rythme plus soutenu au fil de la journée du 13, pour se dissiper au cours des 24h suivantes dans le domaine subtropical, phagocytée par le secteur chaud d'une perturbation des moyennes latitudes arrivée par l'ouest.

Second cyclone le plus intense de la saison, mais celui ayant eu la plus longue durée de vie au stade de cyclone tropical (78 heures), CLAUDIA s'est plutôt apparenté à un système de cœur de saison, avec également sa trajectoire pseudo-parabolique sur l'Est du bassin, loin de toute terre habitée.





**Tropical cyclone CLAUDIA** exhibiting one of its best definitions on the enhanced infrared imagery, but with a relative weakness present on the southern side of the eyewall, a weakness which was even more obvious on the microwave imagery.



## Cyclone Tropical

du 28 décembre 2012 au 7 janvier 2013

*Tropical Cyclone "Dumile" (28 December 2012-7 January 2013)*



### FORMATION



Environ 60 jours après la phase active précédente, qui avait concerné le Sud-Ouest de l'océan Indien durant la seconde moitié du mois d'octobre, une nouvelle pulsation de la MJO (Oscillation de Madden-Julian), la seconde de cette saison chaude 2012-2013, vient se mettre en place sur l'Ouest du bassin, vers le 20 décembre, avant de se propager à travers l'océan Indien tropical jusqu'au changement d'année, puis d'investir le Pacifique Sud, essaimant sur son passage pas moins de quatre systèmes dépressionnaires (et indirectement un cinquième, avec EMANG).

Après quasiment deux semaines d'inactivité sur le bassin, consécutives à la fin de l'épisode CLAUDIA, les choses vont ainsi recommencer à bouger après Noël. L'avènement de la nouvelle pulsation de la MJO commence alors à se manifester et produit ses premiers effets. On observe un renforcement des vents d'ouest équatoriaux ainsi que de l'activité convective, qui ne tarde pas à se scinder en deux zones suspectes bien distinctes, l'une au sud-ouest immédiat des Chagos, l'autre sur l'extrême nord-est de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion, plus proche de l'Equateur. L'analyse conjointe des observations de surface disponibles et des vents dérivés des données diffusiométriques Ascat et Oceansat, confirme rapidement que deux minima dépressionnaires sont associés à ces deux zones suspectes.

Les modèles numériques envisagent un potentiel de cyclogenèse pour ces deux circulations embryonnaires, mais plus important pour la zone perturbée la plus à l'ouest. Par la suite ils s'évertueront toutefois régulièrement à vouloir creuser, fortement par moments, le minimum

oriental. Sans que cela ne se vérifie. Végétant sur l'Est du bassin pendant plus de 15 jours à un stade faible, sans jamais arriver à prendre son essor, mais en parvenant malgré tout, vaille que vaille, à survivre durant une période incroyablement longue, cette perturbation amorphe finira par bénéficier d'une timide étincelle, lui permettant de brièvement se "développer" pour se hisser, tout juste, au stade minimal de tempête tropicale (voir EMANG). Les modèles numériques vont s'avérer beaucoup plus performants pour le système de l'ouest, avec, en particulier, des prévisions de trajectoire qui se révéleront extraordinairement précises.

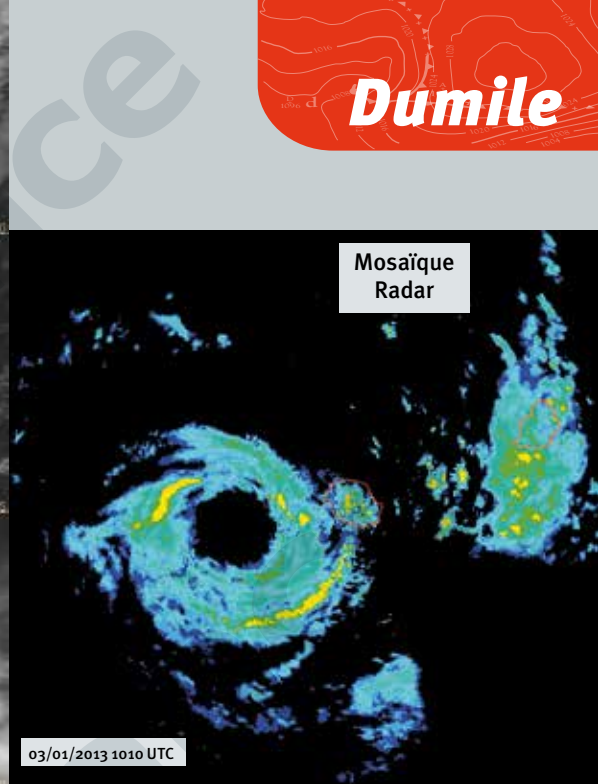
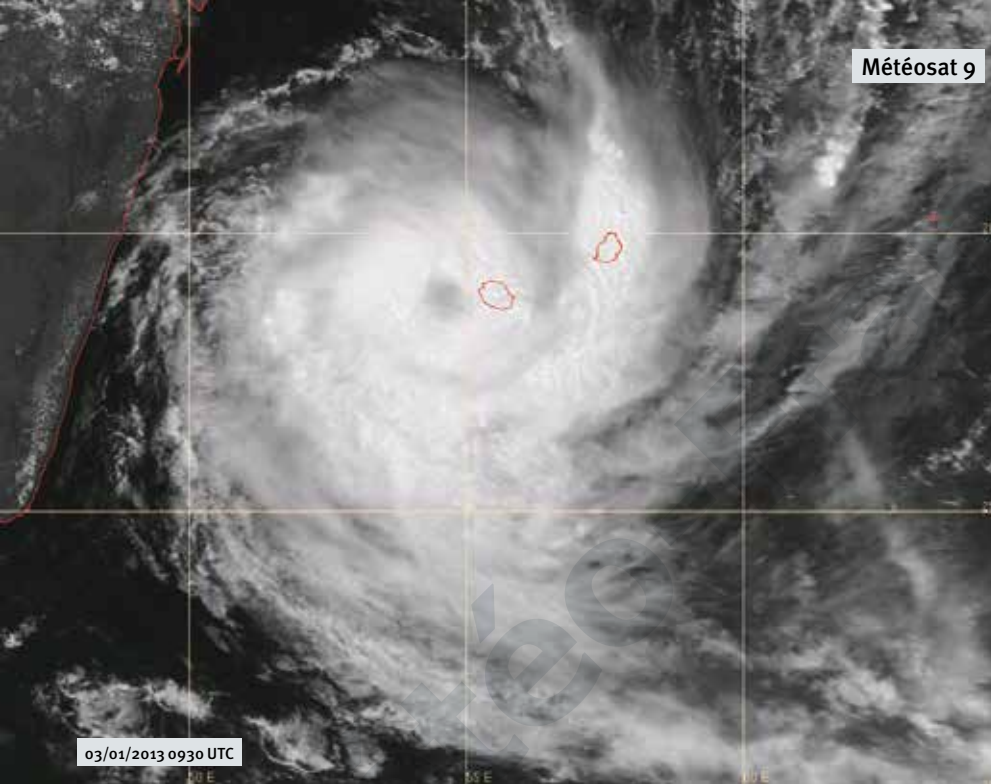
Entre le 27 et le 28 décembre, la zone perturbée correspondante se décale en direction de l'ouest-sud-ouest, mais le minimum dépressionnaire associé, estimé à 1005, puis 1004 hPa, n'apparaît pas encore réellement défini sur l'imagerie satellitaire. Les conditions environnementales ne sont guère favorables à ce stade et ne sont pas prévues s'améliorer à courte échéance, avec un cisaillement vertical de vent d'est fort et persistant, constituant pour le moment un facteur inhibant rédhibitoire.

Entre le 28 et le 29, on note toutefois une amélioration nette au niveau de la convergence de basses couches, avec un flux d'ouest équatorial qui a été aspiré par la dépression naissante et qui vient dorénavant converger plus directement avec l'alizé. La circulation de basses couches apparaît mieux définie également, puisque désormais esquissée sur l'imagerie satellitaire par des lignes de nuages bas. Ceux-ci sont rendus bien visibles par le fait que l'activité convective est rejetée bien à l'ouest par le flux d'altitude. De sorte que le système est encore classé au simple niveau 1 de l'échelle d'intensité de Dvorak, quand le

CMRS de La Réunion émet dans l'après-midi son premier bulletin sur ce système. Il n'est pas dans la norme de démarrer les bulletins spécifiques aussi tôt, mais le prévisionniste cyclone de service a pris l'initiative de déroger aux procédures habituelles pour pouvoir mieux lancer un message fort en terme de prévision. Ce premier bulletin prévoit, en effet, que, cinq jours plus tard, ce "phénomène", pour l'heure encore virtuel, puisque pas réellement formé, va transiter, au stade de cyclone tropical, à proximité ouest de l'île de La Réunion. Une prévision qui va s'avérer quasiment parfaite en terme de trajectoire et très correcte en terme de prévision d'intensité, avec une intensification effective simplement plus tardive encore qu'initialement escomptée et survenant en fait 24h plus tard que prévu (d'où une intensité moindre au passage au plus près de La Réunion).

Mais pour l'heure, le système dépressionnaire est encore bien loin d'aspirer au statut d'hypothétique futur cyclone tropical. Il lui faut pour l'instant déjà survivre et pour ce faire surmonter la contrainte cisailée, toujours aussi sévère, contre laquelle il doit lutter âprement. En journée du 30, la circulation dépressionnaire demeure très éloignée (suivant un axe nord-ouest/sud-est) et ce d'autant plus qu'un puissant amas nuageux convectif formé en fin de nuit précédente au sud-est du minimum dépressionnaire, vient générer la formation d'un vortex convectif de méso-échelle (encore visible sur l'imagerie satellite de l'après-midi – voir page 34). Ce qui s'avérera être une péripétie sans lendemain, constitue toutefois un événement parasite qui vient perturber le début d'organisation autour du minimum dépressionnaire déjà constitué. La tentative d'émergence d'un minimum secondaire sous ce vortex convectif, concurrençant le minimum principal, fait que la circulation dépressionnaire est déformée et temporairement désorganisée. Les choses rentrent toutefois rapidement dans l'ordre, avec la dissipation de ce feu de paille convectif et la fin de cet épiphénomène éphémère. L'amas convectif initial reprend la main et demeure le moteur principal de la perturbation. Toujours maintenu décalé à l'ouest du minimum dépressionnaire, il a abordé en matinée les îlots d'Agalega, qui sont ensuite copieusement arrosés le restant de cette journée du 30 décembre (154 mm tombés en l'espace





**DUMILE au moment de son passage au plus près de La Réunion.** Le phénomène est encore en phase d'intensification et vient tout juste d'atteindre le stade minimal de cyclone tropical, quand son centre passe à un peu plus de 100 km au large du littoral ouest du département. Le météore est entré depuis la nuit précédente dans le champ de vision des deux radars météorologiques implantés sur l'île et l'image ci-dessus constitue en soi un petit événement dans la longue histoire des cyclones et de l'île Bourbon : c'est une des toutes premières mosaïques radar constituées à partir des données de réflectivité des deux radars désormais en service opérationnel sur le département, et la toute première permettant de "voir" en entier, un œil de cyclone évoluant à proximité ouest à sud-ouest de l'île (voir explications complémentaires page 44). En alerte maximale depuis quelques heures (alerte rouge), La Réunion est finalement simplement effleurée par le cœur actif du cyclone. Echappant aux conditions météorologiques les plus dégradées, elle subit malgré tout une influence tout à fait significative (voir détails pages 41 à 44).

**DUMILE when passing at its closest to La Reunion.** The phenomenon was still in its intensification phase and had just reached the minimal stage of tropical cyclone, when its centre transited a little more than 100 km off the western coast of the French overseas department. Since the previous night, the meteor had entered the field of vision of the two meteorological radars set on the island and the image above was in itself a small event in the long history of cyclones and of Bourbon Island as it was one of the first radar mosaics made up from the reflectivity data of the two radars henceforth in operational service in the island, and the very first enabling one to "see" the entire eye of a cyclone evolving near to the west or southwest of the island (for further information see page 44).

Reunion Island, which had been on high alert for a few hours (red alert), was finally simply brushed past by the active core of the cyclone. Avoiding the most deteriorated weather conditions, it underwent quite a significant influence however (see details pages 41 to 44).

de 12h). Dans la nuit, l'activité convective est particulièrement intense, avec des sommets nuageux extrêmement froids (jusqu'à  $-93^{\circ}\text{C}$  pour le pixel le plus froid sur l'image infrarouge du satellite NOAA 19). Au matin du 31 décembre, on retrouve un système nuageux de grande ampleur, s'étendant sur quelque 2000 km est-ouest, bénéficiant d'une bonne divergence d'altitude, mais toujours assujéti à un cisaillement vertical de vent assez fort, qui a pris désormais une composante plus sud-est. La configuration exhibée fait d'emblée penser à un système de type dépression de mousson, à ceci près que la partie orientale du système n'est, pour l'instant, pas la plus active, tant en terme d'activité nuageuse que vent. Mais les données de vents diffusiométriques Ascat et Oceansat confortent cependant le diagnostic d'un système s'apparentant à une dépression de mousson, affichant une large plage, toujours très élongée, de vents faibles, alors que les vents les plus forts, qui atteignent localement la force du grand frais à la mi-journée, sont rejetés assez loin au nord et davantage encore au sud, du cœur de la circulation dépressionnaire.

L'on sait par expérience que ce genre de système dépressionnaire atypique met,

## FORMATION

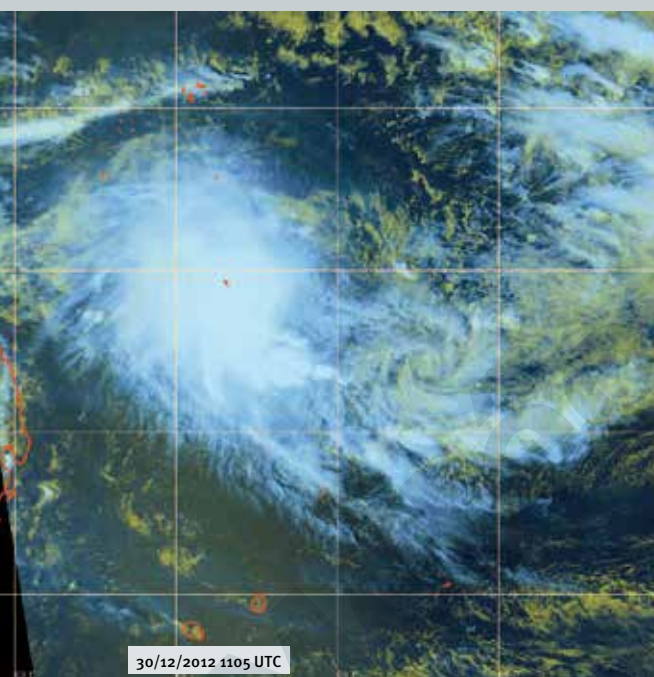
About 60 days after the previous active phase, which had concerned the South-West Indian Ocean during the second half of the month of October, a new MJO pulse (Madden-Julian Oscillation), the second one of that 2012-2013 warm season, had just settled over the western part of the basin, around 20 December, before spreading across the tropical Indian Ocean until the turn of the year, then moving into the South Pacific, spawning on its way no fewer than four tropical storms (and indirectly a fifth one, with EMANG). After almost a fortnight of lull over the basin, following the end of the CLAUDIA episode, activity started to revive after Christmas. The advent of the new MJO pulse began to be felt and produced its first effects. A strengthening of the equatorial westerlies could be observed and so could convective activity, which did not take long to split in two clearly distinct suspect areas, one of them very close to the southwest of the Chagos, the other on the far northeast of the RSMC La Reunion's area of responsibility, nearer the Equator. The combined analysis of the available surface observations and of the winds derived from the Ascat and

Oceansat scatterometer data, soon after confirmed that two closed low pressure areas were associated with these two suspect areas.

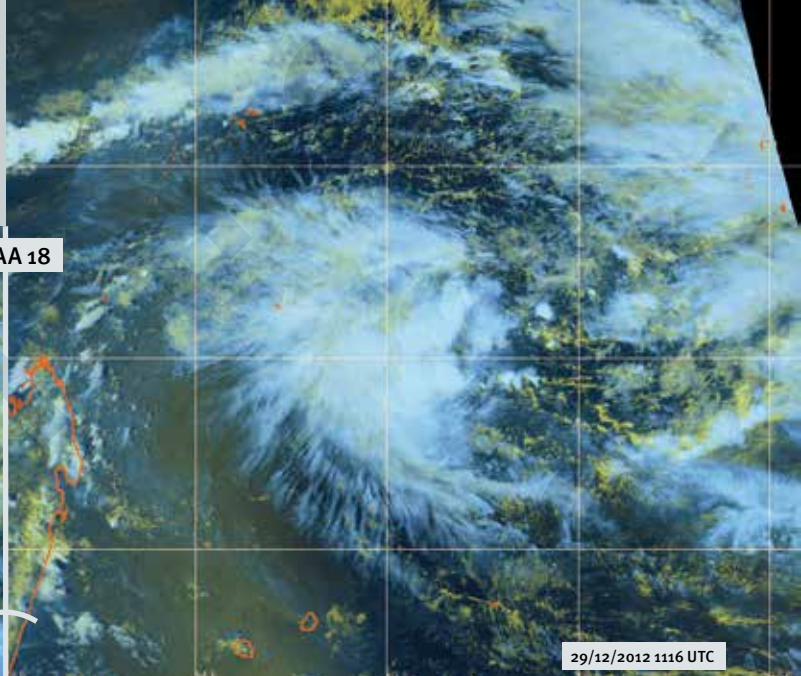
The numerical models envisaged a cyclogenesis potential for both embryonic circulations, but more significant for the westernmost zone of disturbed weather. However, later on they regularly persisted in trying to deepen the eastern low, quite strongly at times. Without this happening. That lifeless disturbance which stagnated over the eastern part of the basin for more than a fortnight at a weak stage, without being able to spin up, but which managed somehow in spite of all to survive for an incredibly long period, finished off benefiting from a timid spark, which ignited some brief "development" that enabled it to barely rise to the minimal stage of tropical storm (see EMANG). The numerical models proved to perform much better for the western system, with, in particular, exceptionally precise track predictions.

Between 27 and 28 December, the corresponding zone of disturbed weather shifted west-southwestward but the associated low centre, estimated at 1005 hPa, then 1004 hPa, did not appear to be really well defined yet on the satellite

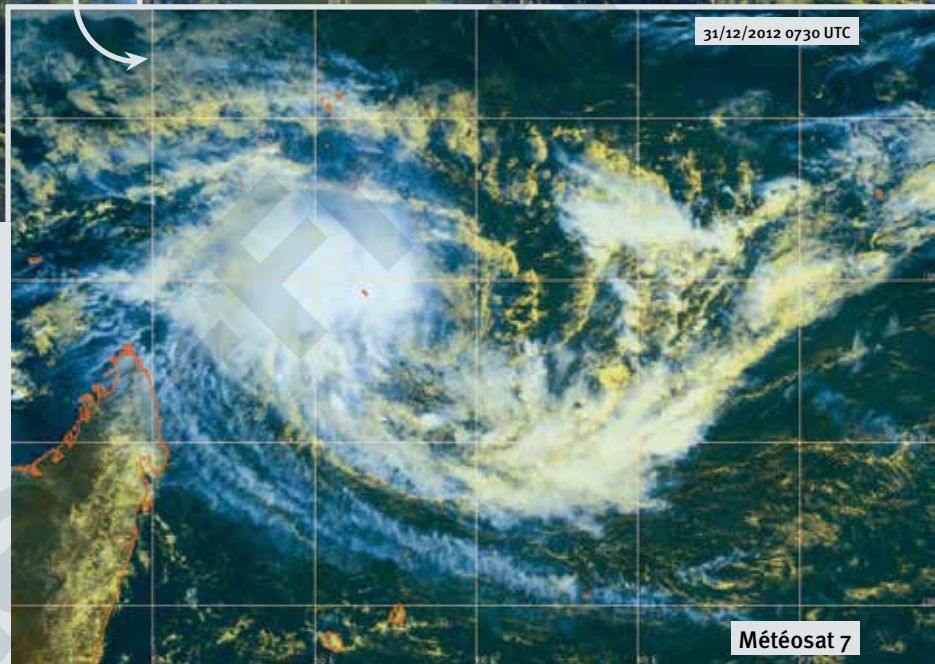




NOAA 18



29/12/2012 1116 UTC



31/12/2012 0730 UTC

Météosat 7

**Pré-genèse du futur DUMILE.** Jugulée par une contrainte cisailée d'est, puis sud-est, assez forte, la cyclogenèse de DUMILE a mis du temps à se concrétiser. Les trois images quotidiennes acquises en cette fin d'année 2012, illustrent le lent processus d'organisation du système nuageux intervenu durant cette période, malgré la persistance de cette entrave. Sur l'image du 31 décembre, la configuration nuageuse s'apparente à celle d'une large dépression de mousson. Le centre dépressionnaire apparaît exposé au sud-est de la convection, qui, depuis la veille, demeure "scotchée" dans les parages d'Agalega, déversant des pluies diluviennes sur les deux îlots et ses habitants (237 mm relevés en 24h le 31 à 06 utc).

**Pre-genesis of to-be DUMILE.** Curbed by a rather powerful easterly, then southeasterly sheared constraint, DUMILE's cyclogenesis took a long time to take shape. The three daily images acquired at the end of 2012, illustrates the slow organization process of the cloud system that took place during that period, in spite of the persistence of that hindrance. On the image of 31 December, the cloud configuration matched that of a large monsoon depression pattern. The low-level centre appeared exposed to the southeast of the convection, which had remained "stuck" in the vicinity of Agalega since the previous day, pouring very heavy rain on the two islets and their inhabitants (237 mm recorded in 24h on 31 December at 06 utc).

imagery. The environmental conditions were not very favourable at that stage and were not forecast to improve in the near future, with a strong and persistent easterly vertical windshear, acting for the moment as a thwarting, crippling factor. However, between 28 and 29 December, a clear improvement of the low-level convergence could be noticed, with a westerly equatorial flow that had been sucked in by the incipient depression and henceforth converged more directly with the trade winds. The low-level circulation looked better defined too, since, from then on, outlined on the satellite imagery by lines of low clouds. The latter were made clearly visible by the fact that the convective activity was set aside far to the west by the upper flow. So that the system was still classified at level 1 of the Dvorak intensity scale, when RSMC La Reunion issued their first bulletin about

that system in the afternoon. It is not customary to start editing specific bulletins so early, but the cyclone forecaster on duty decided to depart from the usual procedures in order to send a strong warning message in terms of forecasting. That first bulletin actually forecast that, five days later, the "phenomenon", virtual so far, since not really formed yet, would transit, as a tropical cyclone, in the western close vicinity of Reunion Island. An early prediction that proved to be nearly perfect in terms of trajectory and quite correct in terms of intensity forecast, with an effective intensification that came simply even later than initially expected and which in fact took place 24h later than anticipated (hence a weaker intensity on the nearest passage to Reunion Island). But for the time being, the low-pressure system was quite far from aspiring to

par nature, beaucoup plus de temps à s'organiser et à se creuser, mais qu'il finit bien souvent par évoluer vers une structure de système dépressionnaire tropical plus classique (cf. les cas de GERARD en février 2005 ou de DIWA en mars 2006). Un pré-requis pour que puisse s'opérer une telle transition/transformation vers un système dépressionnaire "traditionnel", est que de la convection puisse de manière pérenne se développer au-dessus du minimum dépressionnaire. Sans une baisse préalable du cisaillement vertical de vent, cela n'est évidemment pas envisageable. En l'occurrence, pour ce qui constitue désormais la dépression tropicale n°05, cela passe par un rapprochement de la dorsale d'altitude.

Un changement de trajectoire vers le sud va satisfaire cette condition. Alors que depuis son origine, le météore s'était déplacé suivant une trajectoire irrégulière

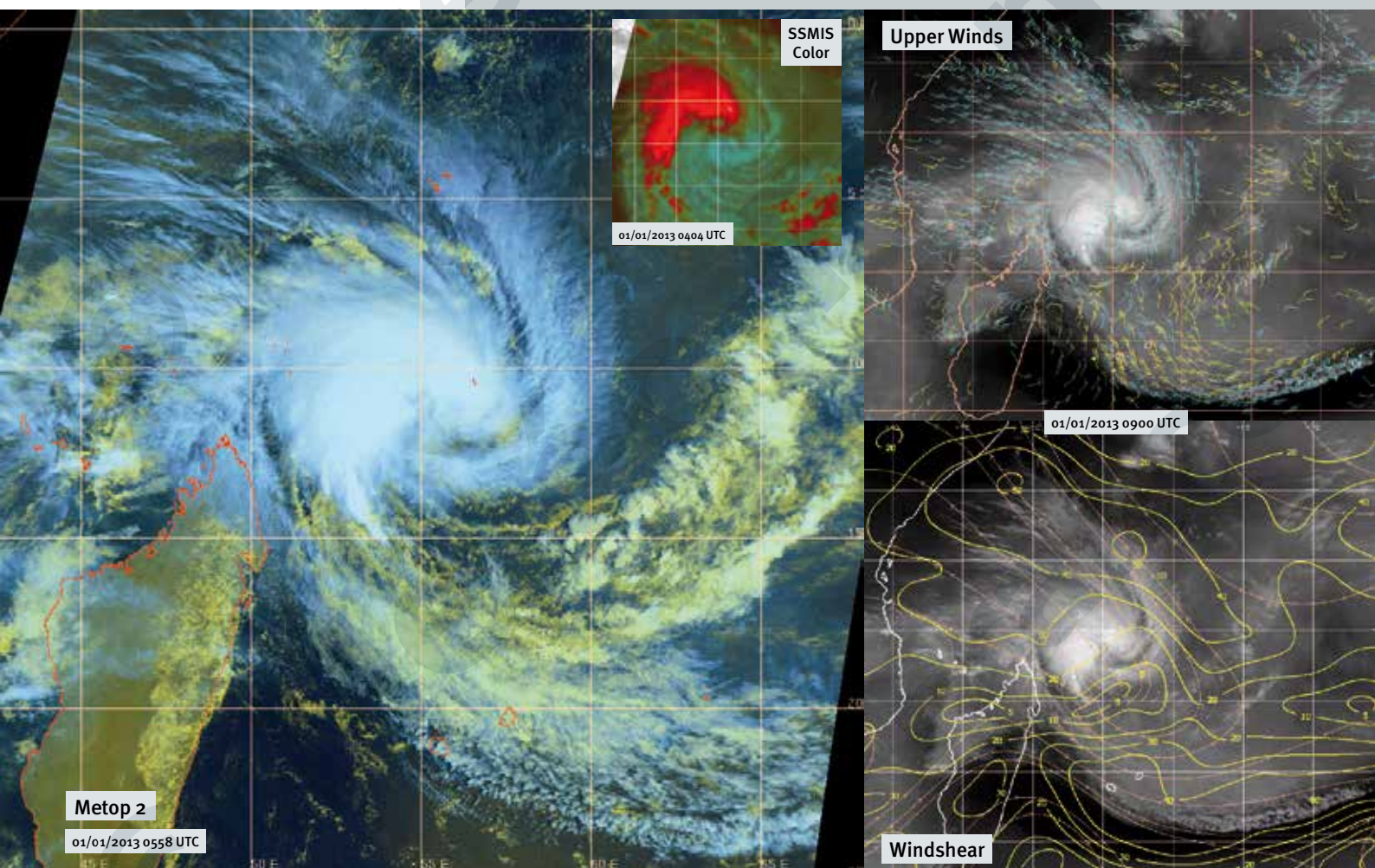


orientée classiquement en direction générale de l'ouest-sud-ouest, une modification assez radicale du flux directeur est attendue, suite à la construction d'une dorsale de moyenne troposphère dans l'est du système. Ce scénario prévu d'une bifurcation vers le sud, est crédité d'un degré de confiance important, tant du fait du consensus fort des différents modèles numériques dans ce sens, que de la faible dispersion de la prévision d'ensemble.

Au petit matin du 1er janvier 2013, alors que le minimum dépressionnaire se situe au plus près des îlots d'Agalega (à un peu moins de 100 km au sud), le changement

*the hypothetical status of to-be tropical cyclone. For the moment it just strived to survive and to do so needed to overcome the sheared constraint, still quite severe, against which it had to struggle fiercely. During 30 December, the clockwise circulation remained elongated (along a north-west/southeast axis) all the more so as a powerful convective cloud cluster that had formed towards the end of the previous night to the southeast of the low, triggered off the formation of a meso-scale convective vortex (still visible on the satellite imagery in the afternoon – see opposite page left). What proved to be*

*a short-lived episode was nevertheless a parasitic event, which disturbed the incipient organization around the primary already built low centre. The fact that a secondary low attempted to emerge under that convective vortex, thereupon competing with the main low, resulted in the clockwise circulation being distorted and temporarily disorganized. However things rapidly went back to normal, with the dissipation of that convective flash in the pan and the end of that short-lived epiphenomenon. The initial convective ball took over and remained the main driving agent of the disturbance.*



**Genèse de DUMILE.** En dépit d'une contrainte cisailée de sud-est persistante (certes adoucie et devenue plus modérée, puisque estimée à 15 nœuds d'après les données du CIMSS – voir carte ci-dessus), mais à la faveur d'une bonne divergence d'altitude (du côté équatorial tout particulièrement), la dépression a continué de se creuser et vient d'être baptisée en cette matinée du nouvel an, ce qui lui a illico valu de faire l'objet du jeu de mots du jour : "bonne année DUMILE treize"... Une facétie qui n'aura peut-être pas suffi à rendre le sourire aux habitants d'Agalega, qui viennent de passer deux jours sous des trombes d'eau et sont encore dans la continuité d'un passage à la nouvelle année particulièrement arrosé (159 mm de précipitations tombés lors des 12h précédentes). L'évolution lente de la perturbation dans les parages d'Agalega, aura maintenu la petite possession mauricienne plus de 48h durant sous la masse nuageuse convective associée à la tempête tropicale naissante, lui faisant subir un véritable déluge, puisque près de 450 mm de précipitations (dont 417 mm en 48h – du 30 décembre au 1er janvier à 06 utc) se seront au total abattus durant cet épisode pluvieux exceptionnel, correspondant à près de deux fois et demi la moyenne mensuelle de précipitations de décembre !

**DUMILE's genesis.** In spite of a persistent southeasterly sheared constraint (which had actually abated and become rather moderate, as estimated at 15 knots according to the CIMSS data – see map above), but owing to a good upper divergence (equatorward in particular), the depression went on deepening and had just been named in the morning of New Year's day.

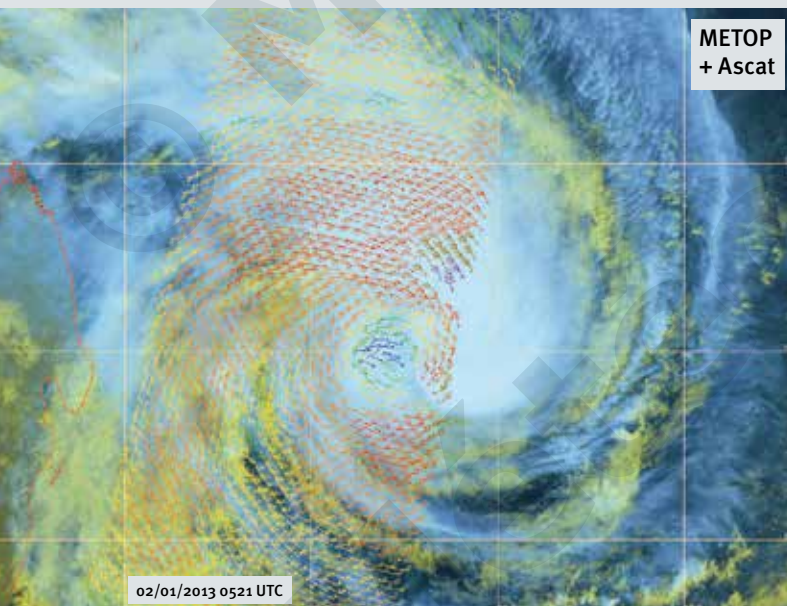
Not sure it was really a day to be in a party mood for the inhabitants of Agalega, who had just spent two days under a downpour and were still in the continuity of the passage to the new year which had been washed down with torrential rainfall (159 mm of rainfall amount recorded during the previous 12h). The slow evolution of the disturbance in the vicinity of Agalega, maintained the small Mauritian possession for more than 48h under the convective cloud mass associated with the nascent tropical storm, subjecting it to a real deluge, as nearly 450 mm of rain (of which 417 mm fell in 48h – from 30 December to 1 January at 06 utc) beat down on the islets during that exceptional rain episode, corresponding to almost two and a half times the December monthly rainfall average!



**DUMILE, an intensification curbed by an original structure of the monsoon depression type.** If DUMILE's formation process had been thwarted by a persistent vertical windshear, its developing process on the other hand was slowed down by the particular structure of the associated depression, characterized by the existence of a relatively wide area of weak winds around the low (more than 150 km in average diameter according to the Ascat data of 1st January), surrounded by an asymmetric crown of strong winds, reaching gale force in the northern to eastern sectors of the clockwise circulation (the maximum winds being therefore situated far from the centre of the depression – about 200 km).

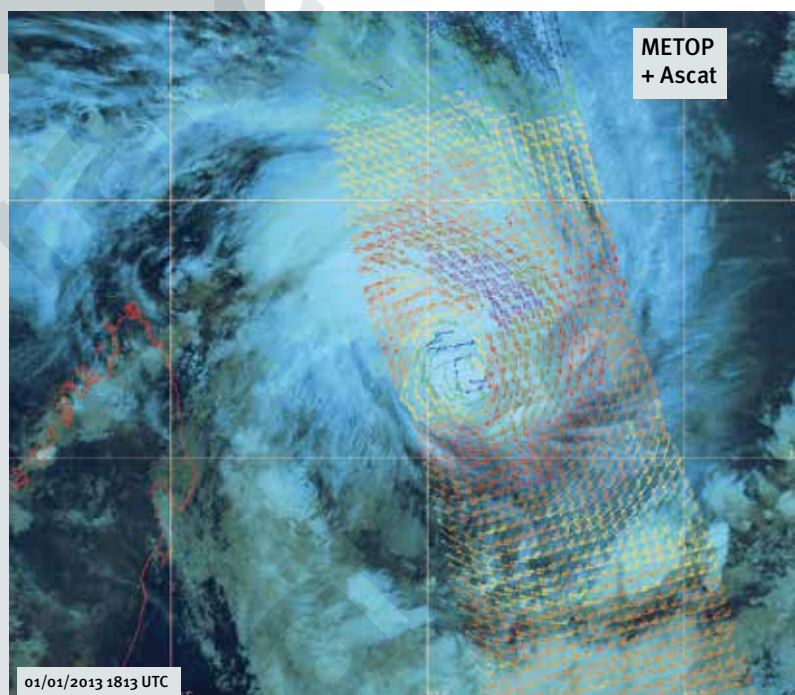
That structure, of the monsoon depression type, does not favour fast evolutions. Starting from a wide inner core rather slack and deprived of any convection at the origin, time is necessary to succeed in forming a compact inner core where both convective activity and the strongest winds can concentrate. Such metamorphosis into a classic tropical low-pressure system, generally requires the previous development of a persistent central core of deep convection.

Whereas the imagery acquired during the night of 1 to 2 January, when such a central nucleus of convection had indeed appeared, might suggest that the process had been launched, the next image of the morning of 2 January, showed that that convective activity was not perennial yet, with the return to the simple presence of a convective band in the eastern sector of the low (a typical configuration of monsoon depressions). However, that first attempt, fruitless at the first glance, was not without effect, since the windfield derived from the Ascat scatterometer data in the morning of 2 January, showed that the central area of weak winds had become more circular, somewhat smaller and had shrunk at the same time (measuring no more than about 110 km in diameter). In fact it had prepared the ground for the next stage, decisive this time, as it actually did not take long for the mechanism of the building of the inner core of the meteor to really kick off, as early as in the afternoon of 2 January (see images – especially microwave – on next page).



Still displaced to the west of the low centre, it accosted, in the morning, the Agalega Islets, which then underwent heavy rainfall during the rest of the day of 30 December (154 mm recorded within the space of 12h). During the ensuing night, the convective activity was particularly intense, with extremely cold cloud tops (with the coldest pixel down to -93°C on the infrared image of satellite NOAA19). In the morning of 31 December, a cloud system of very large extent could be observed, stretching over some 2000 km from east to west, benefiting from a good upper divergence, but still in the grip of a rather strong vertical windshear, which had henceforth adopted a more southeasterly orientation. The exhibited configuration right away called to mind a

system of the monsoon depression type, except that the eastern part of the system was, for the time being, not the more active, in terms of both cloud and wind activity. But the wind data retrieved from the Ascat and Oceansat scatterometers confirmed the diagnosis of a system akin to a monsoon depression, displaying a wide area, still much elongated, of weak winds, whereas the strongest winds, which reached near gale force locally at midday, were set aside rather far to the north and even farther to the south, from the core of the clockwise circulation. One knows from experience that that kind of atypical system naturally takes far more time to get organized and to deepen, but that eventually it quite often turns into the more classic structure of



**DUMILE, une intensification freinée par une structure originelle de type dépression de mousson.** Si le processus de formation de DUMILE avait été contrarié par une contrainte cisailée tenace, son processus de développement a, quant à lui, été ralenti par la structure particulière de la dépression associée, se caractérisant par l'existence d'une zone de vents faibles relativement large autour du minimum dépressionnaire (plus de 150 km de diamètre moyen d'après les données Ascat du 1er janvier), entourée par une couronne asymétrique de vents forts, atteignant le coup de vent dans les secteurs nord à est de la circulation dépressionnaire (le maximum de vents se situant donc loin du centre de la dépression – environ 200 km).

Cette structure, de type dépression de mousson, ne favorise pas les évolutions rapides. Partant d'un cœur central large, assez "mou" et originellement dénué de convection, il faut, en effet, du temps pour arriver à constituer un cœur central compact où viennent se concentrer à la fois l'activité convective et les vents les plus forts. Une telle métamorphose en système dépressionnaire classique, requiert généralement le développement préalable d'un noyau central persistant de convection profonde.

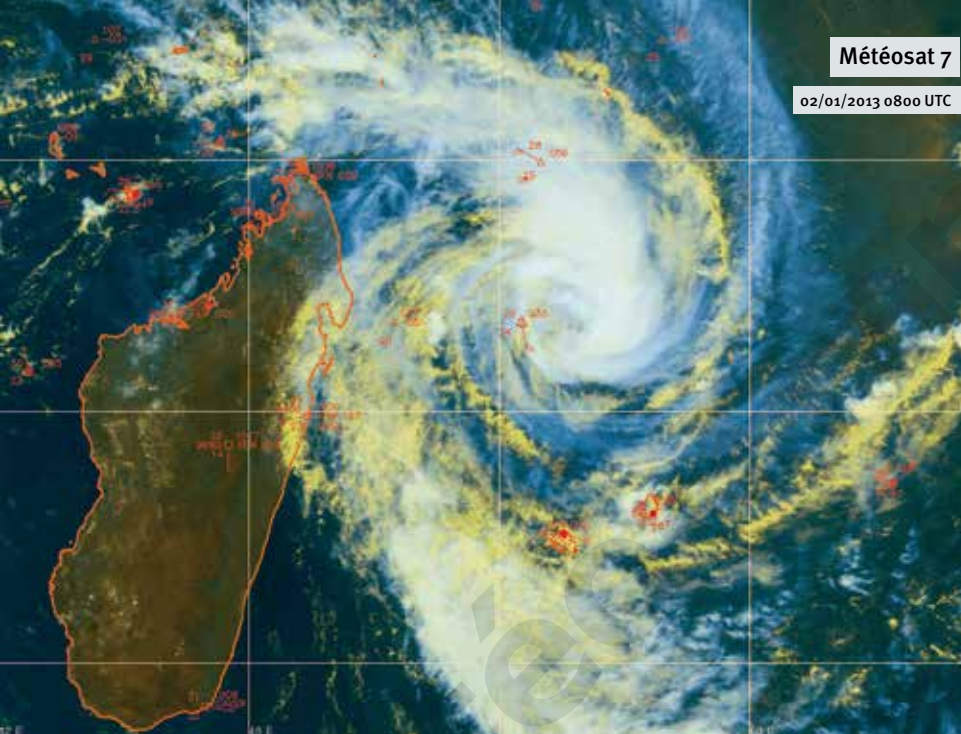
Alors que l'imagerie acquise dans la nuit du 1er au 2 janvier, où un tel noyau central de convection était effectivement apparu, pouvait laisser penser que ce processus était lancé, l'image suivante de la matinée du 2, montre que cette activité convective n'est pas encore pérenne, avec retour à la simple présence d'une bande convective dans le secteur est du minimum dépressionnaire (configuration typique des dépressions de mousson). Cette première tentative, de prime abord infructueuse, n'a cependant pas été sans effet, puisque l'on constate sur le champ de vents dérivé des données diffusiométriques Ascat du 2 au matin, que la zone centrale de vents faibles est devenue à la fois plus circulaire et s'est dans le même temps quelque peu réduite et contractée (ne faisant plus qu'environ 110 km de diamètre). Elle aura en fait préparé le terrain pour l'étape suivante, décisive celle-là, car il ne faudra, en effet, pas attendre bien longtemps pour voir démarrer véritablement, dès l'après-midi de ce 2 janvier, le mécanisme de construction du cœur central du météore (voir images, micro-onde en particulier, page suivante).

abrupt de trajectoire intervient effectivement : le météore oblique à angle droit et met le cap au sud-sud-ouest. Le stade minimal de la tempête tropicale modérée est considéré comme atteint au même moment, avec du coup de vent présent sur une portion suffisamment significative de la circulation dépressionnaire, du côté de l'alimentation de mousson (i.e. dans les secteurs nord à est de la dépression).

## EVOLUTION

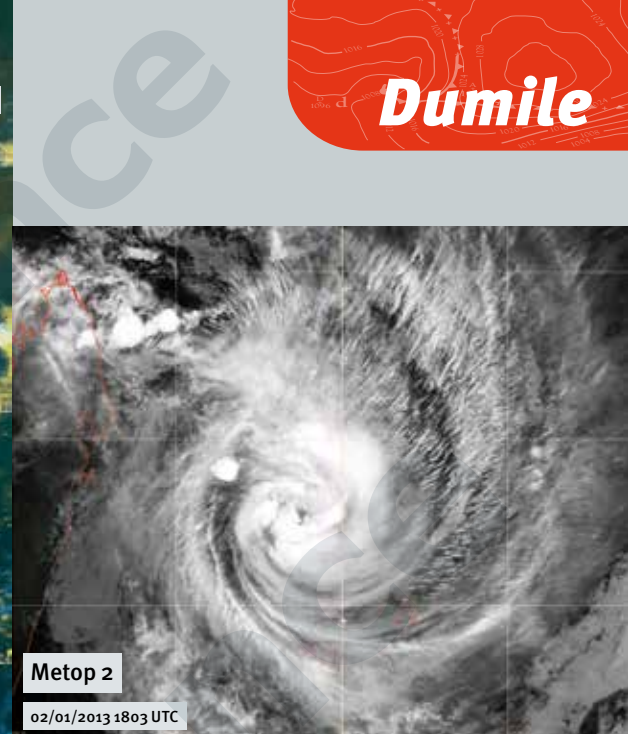
Après un début de vie laborieux fin 2012, le début d'année 2013 se présente sous de biens meilleurs auspices pour le tout fraîchement nommé DUMILE. Le cisaillement vertical de vent de sud-est demeure pour l'heure encore très prégnant, mais ne peut aller désormais qu'en s'atténuant, à





Météosat 7

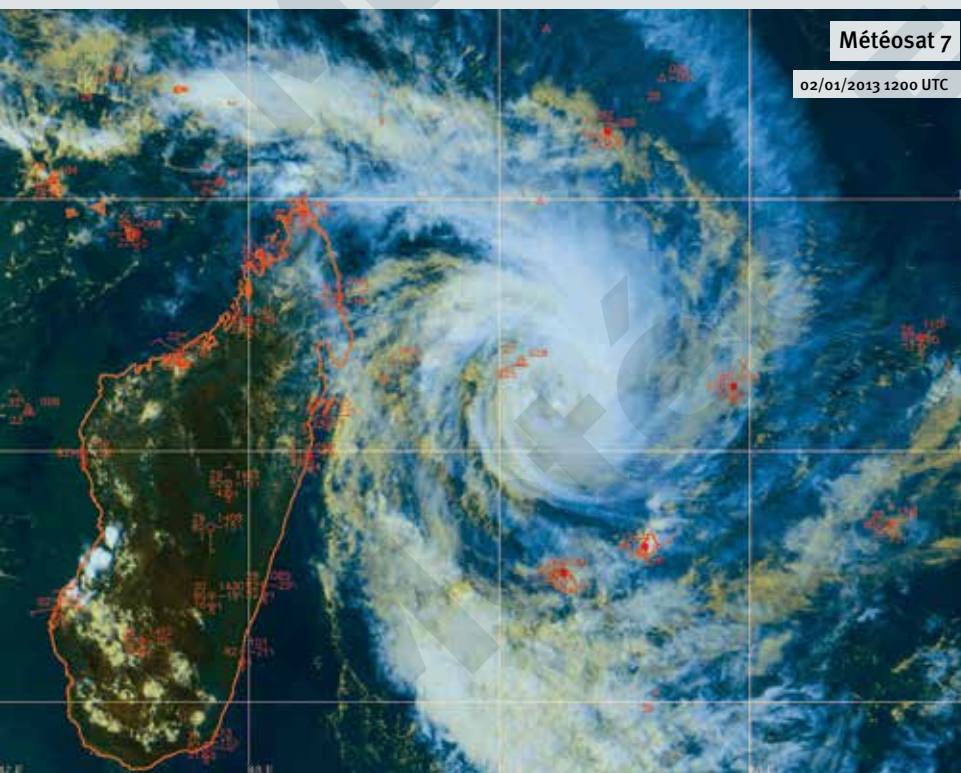
02/01/2013 0800 UTC



Metop 2

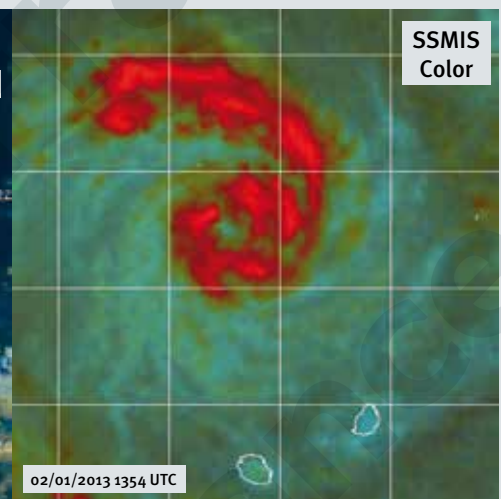
02/01/2013 1803 UTC

**DUMILE passe à proximité de Tromelin et change de structure.** Sur ces deux images (compositions colorées) acquises à 4h d'intervalle, l'évolution au cœur du météore est patente : la transition d'un système de type dépression de mousson vers un système dépressionnaire classique, avec l'intensification qui va de pair, sont en marche. Comme anticipé, de la convection a commencé de s'établir tout autour du centre dépressionnaire (ce que confirme l'imagerie micro-onde), ébauchant les contours, encore flous, du futur œil, un peu mieux esquissé en début de nuit suivante sur l'image infrarouge (en haut à droite).



Météosat 7

02/01/2013 1200 UTC



SSMIS  
Color

02/01/2013 1354 UTC

**DUMILE's structure change while passing in close proximity of Tromelin Islet.** On the above pictures (coloured composites) acquired 4h apart, the evolution of the core of the meteor is obvious : the transition of a system of the monsoon depression type towards a classic tropical system with the intensification going hand in hand with it, was on the way.

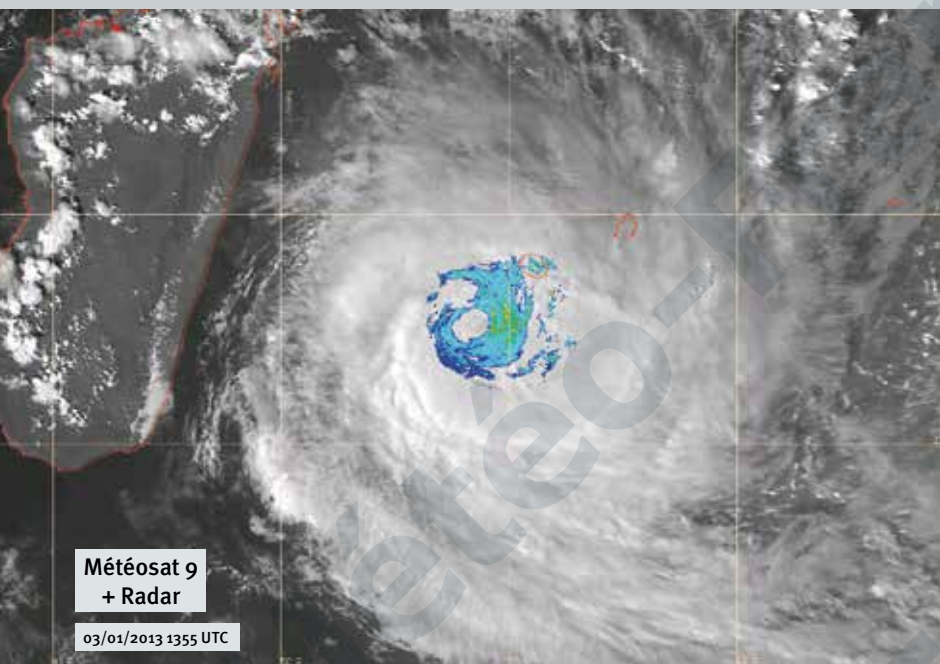
As was anticipated, some convection had begun to settle all around the low (which was confirmed by the microwave imagery), shaping the outline of the future eye, still blurred, but a little more clearly defined at the beginning of the ensuing night on the infrared image (upper right).

la faveur d'un déplacement qui rapproche maintenant directement le phénomène de l'axe de la dorsale d'altitude. En début d'après-midi de ce jour du nouvel an, le centre de DUMILE transite à environ 150 km à l'est d'une des bouées ancrées du réseau RAMA, qui transmet un minimum de pression horaire à 992 hPa (corrigé de la marée barométrique). Cette bouée se retrouve ensuite au sein de la zone de faible gradient, toujours très étendue, qui environne le centre de la dépression, comme le confirme la fauchée Oceansat acquise au même moment, ...et les observations de la même bouée, qui

a typical tropical system (see cases of GERARD in February 2005 and DIWA in March 2006). A prerequisite for such a transition/transformation towards a "traditional" tropical storm pattern is that convection should be able to develop on a long-term basis above the low centre. That is not conceivable of course, without the vertical windshear decreasing beforehand. In this case, for what had henceforth become tropical depression n°05, it could be achieved only with the latter drawing near the upper ridge. A change of heading toward the south met that condition. Whereas from its

origin, the meteor had tracked on an irregular trajectory oriented in a climatological west-southwestward general direction, a rather radical alteration of the steering flow was expected further to the building of a mid-troposphere ridge to the east of the system. That anticipated scenario of a southward sharp turn, was granted a significant level of confidence, owing both to the strong consensus of the different numerical models to that prediction and the small spread of the ensemble forecast. At dawn on 1 January 2013, whereas the low centre was situated nearest to





Météosat 9  
+ Radar

03/01/2013 1355 UTC

Le cyclone tropical DUMILE au maximum de son intensité. Bien que l'œil ne fût plus trop guère visible sur l'imagerie visible à ce moment-là, le météore a, comme en témoignent l'imagerie radar et micro-onde, atteint son apogée en fin d'après-midi du 3 janvier, quelques heures après son passage au plus près de La Réunion.

*Tropical cyclone DUMILE at its maximum of intensity. Although the eye was hardly visible on the visible imagery at that time, the meteor, as was testified by the radar and microwave imagery, reached its culmination towards the end of the afternoon of 3 January, a few hours after its nearest passage to La Reunion.*

the Agalega Islets (a little less than 100 km to the south), the sudden change in trajectory actually took place : the meteor shifted at a right angle towards the south-southwest. The minimal stage of moderate tropical storm was considered to have been reached at the same time, with gale force winds present over a sufficiently significant portion of the clockwise circulation, on the monsoonal side (i.e. in the northern to eastern sectors of the depression).

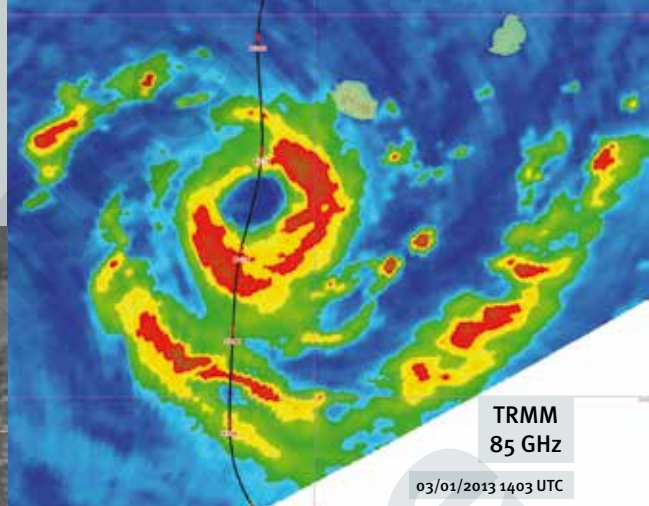
## EVOLUTION

After a laborious early life-cycle at the end of 2012, prospects looked much more promising to start 2013 for the newly named DUMILE. For the time being the southeasterly vertical windshear was still holding sway over the storm but could not but lessen, owing to a meteor's motion which then brought the phenomenon directly closer to the axis of the upper ridge.

At the beginning of the afternoon of new year's day, DUMILE's centre transited about 150 km to the east of a moored buoy of the RAMA network, which transmitted a minimal hourly pressure at 992 hPa (corrected from the barometric tide). Then that buoy found itself within the zone of weak gradient, still widely

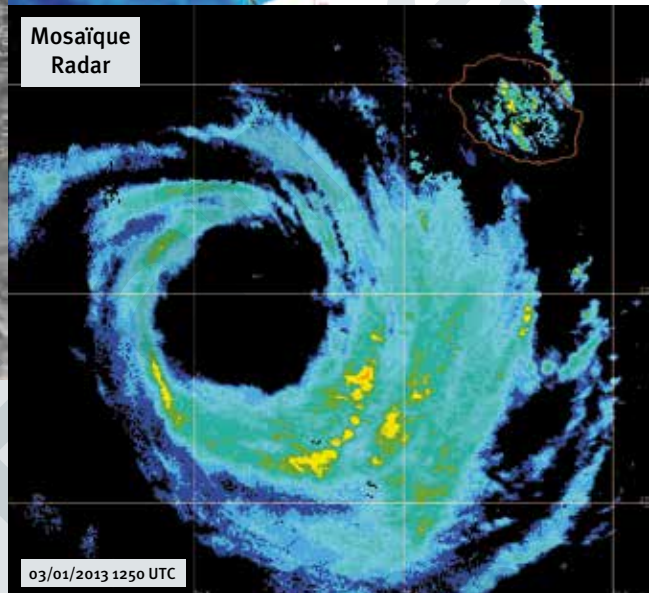
spread, which surrounded the centre of the depression, as was confirmed by the Oceansat swath acquired at the same time, ... and by the observations of the same buoy, which thus reported winds of only twelve knots in the evening (at 16 utc), whereas it was estimated that DUMILE's centre was yet situated at that time more than 200 km to the southeast of the buoy. But, during the next hours, the following observations indicated a vigorous surge of the winds, which rose to an hourly peak of 38 knots at the end of the night (at 23 utc), thus validating the analysed structure of the windfield derived from the Oceansat scatterometer data. The latter indeed depicted a half crown of strong winds (of gale force) in the northern semi-circle of the clockwise circulation, underneath the curved band of convection that had built since the previous night.

An almost similar scenario took place again on the following day (2 January), when DUMILE transited nearest to Tromelin Islet, 100 km to the east. After a minimum of pressure slightly over 992 hPa observed at the beginning of the afternoon by the Météo-France automatic weather station on the island, the wind peak was recorded a few hours later, toward the end of the afternoon, when the gale force wind threshold was reached (34 knots).



TRMM  
85 GHz

03/01/2013 1403 UTC



Mosaïque  
Radar

03/01/2013 1250 UTC

rapportent ainsi un vent de douze nœuds seulement en soirée (à 16 utc), alors que le centre de DUMILE est pourtant estimé se situer à cet instant à plus de 200 km au sud-est. Mais, dans les heures suivantes, le vent remonte vigoureusement, pour atteindre un pic horaire de 38 nœuds en fin de nuit (à 23 utc), validant ainsi la structure analysée du champ de vents dérivé des données diffusiométriques Oceansat, qui affichait une demi-couronne de vents forts (de la force du coup de vent) dans le demi-cercle nord de la circulation dépressionnaire, sous la bande incurvée de convection constituée depuis la nuit précédente.

Un scénario quasi analogue se reproduit le lendemain (2 janvier), quand DUMILE transite au plus près de Tromelin, à 100 km à l'est. Après un minimum de pression légèrement supérieur à 992 hPa observé en début d'après-midi par la station de Météo-France basée sur l'île, le pic de vent est enregistré quelques heures plus tard, en fin d'après-midi, quand le seuil du coup de vent est atteint (34 nœuds).

A ceci près que, cette fois-ci, le maximum de vent n'a été précédé d'aucun amollissement significatif du vent, resté quasiment tout le temps supérieur à 25 nœuds, alors que le centre de DUMILE a pourtant transité nettement plus près (à seulement 100 km). Cela implique que la zone de vents



faibles autour du centre de DUMILE n'a pas touché Tromelin et s'est donc réduite depuis la veille. Cette contraction de l'aire de vents faibles, explique par ailleurs le fait, qui de prime abord pouvait apparaître surprenant, d'un minimum de pression observé à Tromelin non pas plus bas, mais équivalent à celui observé 24h plus tôt par la bouée ancrée, pour une distance de passage au plus près du centre de DUMILE pourtant nettement inférieure. Ce paradoxe, qui n'en est en fait pas un, résulte de la modification du profil de pression (et donc de vent) intervenue en 24h, la contraction de la zone à faible gradient de pression entourant le minimum de pression centrale, même en baisse, justifiant aisément de se retrouver avec une pression identique à une distance pourtant moindre du centre de la dépression.

Cette contraction du cœur central du météore telle que supputée à partir d'une simple observation ponctuelle, est confirmée par l'examen de l'évolution macroscopique du champ de vents telle que décrite par les deux fauchées Ascat consécutives acquises entre la nuit du 1<sup>er</sup> au 2 janvier et la matinée suivante (voir détails page 36). Elle traduit le fait que la circulation dépressionnaire a commencé sa mutation. Mais pour que ce début de transition d'un système de type dépression de mousson vers un système dépressionnaire plus classique puisse aller jusqu'à son terme, il faut que la convection intègre le processus et en devienne le moteur. Cela passe par l'implantation d'une activité convective pérenne à proximité du minimum dépressionnaire. Après une première velléité avortée dans la nuit du 1<sup>er</sup> au 2 (voir image page 36), la greffe prend, cette fois de manière durable, dans l'après-midi du 2. Mettant à profit la baisse sensible du cisaillement vertical de vent en cours, de la convection se développe tout autour du centre de la circulation dépressionnaire, relançant vigoureusement le processus de creusement de la perturbation, rapidement promue au grade de forte tempête tropicale. Un embryon d'œil ne tarde pas à s'esquisser temporairement au cœur du système nuageux (voir image page 37), un clin d'œil signant ostensiblement l'aboutissement réussi de la transition en système dépressionnaire classique.

A l'aube du 3 janvier, c'est donc un phénomène quasiment parvenu à maturité et désormais beaucoup plus compact, qui apparaît sur l'imagerie satellitaire, mais également sur le scope radar de La Réunion. Ayant maintenu depuis près de 24h un déplacement assez rapide

*Except that, this time, the maximum wind was not preceded by any significant abatement of the wind, which exceeded 25 knots almost all the time, whereas DUMILE's centre transited distinctly closer to the islet (100 km only). That implied that the area of weak winds around DUMILE's centre did not touch Tromelin and had therefore shrunk since the day before. Moreover that contraction of the area of weak winds accounted for the fact, which at the outset might have seemed surprising, that the minimum of pressure observed in Tromelin was not lower, but similar to the one observed 24h before by the moored buoy, for a nearest passing distance of DUMILE's centre that was yet markedly shorter. That seemed paradoxical, although it was not actually. It resulted from the modification of the pressure profile (therefore of the wind) that took place in 24h, the tightening of the area of weak pressure gradient surrounding the minimum central pressure, even if the latter was dropping, easily justifying the situation in which an identical pressure prevailed at a yet shorter distance from the centre of the depression.*

*This shrinking of the inner core of the meteor as it was reckoned from a simple point-source observation, was confirmed by the examination of the macroscopic evolution of the windfield as portrayed by the two consecutive Ascat swaths acquired between the night of 1 to 2 January and the next morning (see details page 36). It reflected the fact that the clockwise circulation had begun its transformation. But for such an incipient transition from a system of the monsoon depression type to a more classic tropical system to be able to be completed, it is necessary for convection to integrate the process and to become its driving force. This requires the settling of a durable convective activity in the vicinity of the low.*

*After a first aborted attempt during the night of 1 to 2 January (see image page 36), the implant eventually worked, durably this time, during the afternoon of 2 January. Taking advantage of the ongoing noticeable abatement of the prevailing vertical windshear, convection developed all around the centre of the clockwise circulation, giving a vigorous impulse to the deepening process of the disturbance, which was rapidly upgraded as a severe tropical storm. A hint of an embryonic eye soon appeared transiently within the core of the cloud system (see page 37), a wink to conspicuously assert*

*the full achievement of the transition toward a classic low-pressure system. At dawn on 3 January, it was therefore a nearly mature phenomenon and henceforth much more compact, which appeared on the satellite imagery, but also on the radar scope in Reunion Island. Having maintained for almost 24h a rather fast motion speed (nearly 25 km/h) and almost rectilinear trajectory, on a steady south-southwestward heading, DUMILE was about to cross latitude 20°South and continued to draw dangerously closer to the westernmost island of the Mascarene Archipelago, where the weather conditions had begun to worsen seriously. The east-northeasterly strong winds that violently swept the northern to northwestern part of the overseas French department, and the interior of the island as well, had just exceeded 100 km/h in peak gusts on the northwestern coast and 120 km/h in the most exposed inhabited heights (Plaine des Cafres, northwestern heights of the island). They were associated with heavy rain on the high ground.*

*DUMILE's eye, obscured on the classic imagery, but clearly visible on the radar and microwave imagery, still looked irregular and partially open. Inherited from the original structure of the system, it remained rather wide, measuring some 100 km in diameter. In spite of the ongoing intensification process, it would not really shrink any further and thus the radius of the maximum winds decreased thereafter only very modestly as the day went by, to reach temporarily less than 50 km. The eye definition, rather coarse at the beginning of the day, improved on the successive radar images, which was reflected before midday on the classic imagery on which the eye began to show shyly, under a veil of high clouds.*

*The minimal stage of tropical cyclone was estimated to have been reached at the beginning of the afternoon, at the very moment when DUMILE's centre passed at its closest to Reunion Island, a little more than 105 km off the west coast.*

*The eye now appeared to be completely closed on the radar mosaic (one of the very first made from the images provided by the "old" radar based at the Colorado site – in the upper reaches of the capital city Saint-Denis – and by the new radar at Piton Villers, which had recently become operational – cf. images and comment page 44).*

*The influence of the meteor was strongly felt by the overseas French department, but the latter avoided the active central*

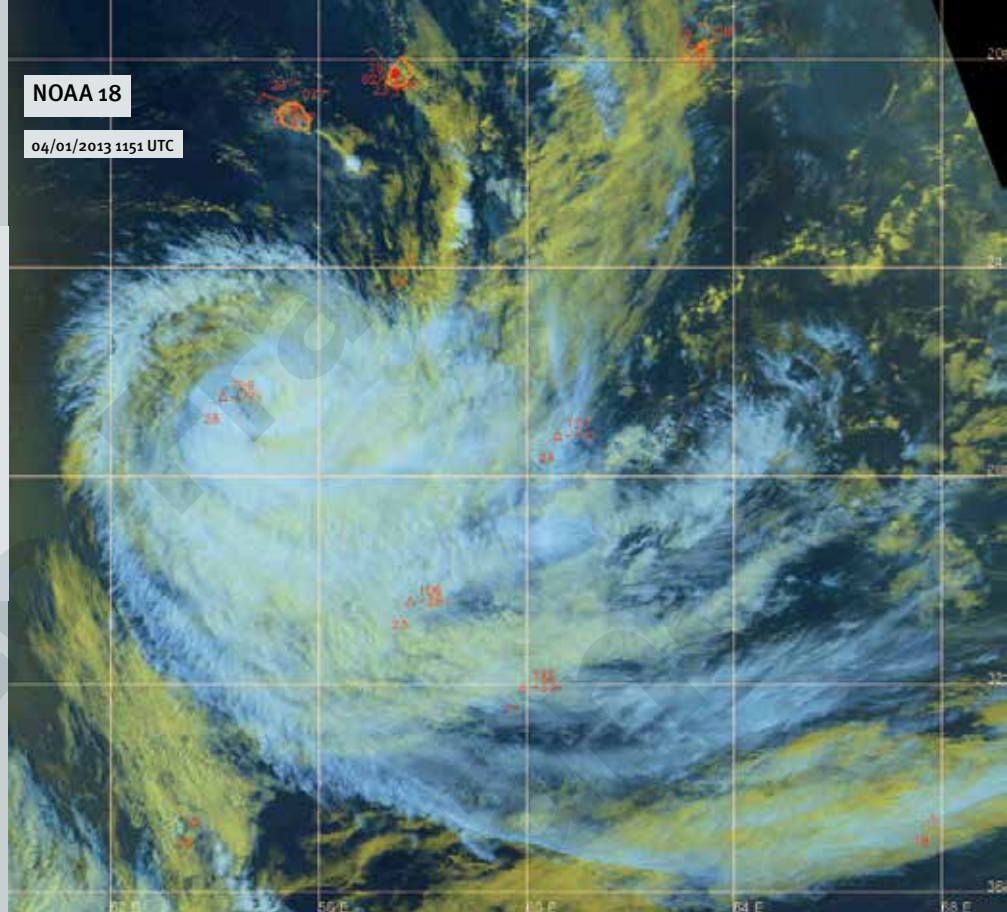
Déclassé en forte tempête tropicale, DUMILE s'évacue au sud de La Réunion (qui a retrouvé un temps clément). Le centre du météore, qui résiste encore assez bien à la contrainte cisaillée modérée de nord-ouest qui l'affecte, vient de passer à proximité d'une bouée dérivante, dont l'observation de pression constitue une donnée précieuse pour confirmer l'intensité estimée du système.

*Downgraded as a severe tropical storm, DUMILE withdraws to the south of La Reunion (which enjoyed the comeback of fair weather conditions). The centre of the meteor, which still resisted rather well the north-westerly moderate sheared constraint that was affecting it, had just passed in the vicinity of a drifting buoy, whose pressure observations were precious data to confirm the estimated intensity of the system.*

core of the phenomenon, which only brushed past the western coast of the island (see details in the special insert pages 41 to 44), in spite of a slight temporary track deflection towards the south-southeast, a minor track "bump" with no consequences.

After a temporary slight fit of faintness in the afternoon (eye open again on its northwest portion and loss of the quality of depiction on the visible imagery), the structure of the meteor regained consistency towards the end of the day and then exhibited, so to speak, its finest attire especially on the microwave imagery (see TRMM image page 38). Consequently, DUMILE was granted a little more intensity for what would eventually become its maximum of intensity, with maximum 10-min average winds estimated at 70 knots (which implied peak gusts at sea exceeding 180 km/h).

Then the environmental conditions began to deteriorate, not excessively actually, but with a northwesterly vertical windshear which tended to increase, while remaining relatively moderate for the time being, and a decreasing oceanic heat content, with a sea surface temperature that was about to drop below the 26°C threshold. That was enough to bring about the expected tendency reversal : DUMILE started to weaken, inescapably. The satellite imagery of the beginning of 4 January was quite clear : it was typical of a cloud system that was undergoing an incipient dismantling through a northwesterly shear. The arrival over cooler waters, to the south of latitude 25°South, also negatively impacted the convection, which gradually collapsed and declined. The cloud system remained rather well structured and vertically coherent during 4 January however, with a decoupling which was still limited between the upper levels (where the residual upper part of the eye of the ex-cyclone – downgraded early in the morning – still featured) and the low-level circulation. The impact of the



increasing vertical windshear was, as a matter of fact, tempered by the motion of the system, which henceforth headed in the same direction as the upper flow generating the windshear (mitigated, as a result, in a mobile referential linked to the meteor), after recurving towards the southeast around midday.

During the afternoon, DUMILE's centre transited in close proximity of drifting buoy 33659, which reported a minimal pressure of 975 hPa, consistent with a low-pressure system at the stage of severe tropical storm. DUMILE's centre, whose cruising speed had increased to exceed 50 km/h a few hours before, crossed latitude 30°South early in the morning of 5 January. The meteor had just begun its phase of extratropical transition, which lasted about twelve hours. It was declared extratropical at the end of the day, as it had just crossed latitude 35°South and had gathered even more speed, racing then at 75 km/h towards the mid-latitudes, for a new phase of its life-cycle. Storm force winds were still present in the eastern semi-circle of the clockwise circulation, which eventually did not concern Kerguelen Island, as the centre of the depression transited on the right side during the evening of 6 January, near the northeastern coast of the island.

The first tropical cyclone of the season to threaten an inhabited land, DUMILE would be remembered, apart from its influence on Reunion Island, as a good example of structure change and as an emblematic case illustrating the progress of cyclone forecasting.

(à près de 25 km/h) et quasi rectiligne, sur un cap sud-sud-ouest établi, DUMILE s'apprête alors à franchir le 20<sup>ème</sup> parallèle Sud et continue de se rapprocher dangereusement de la plus occidentale des îles de l'archipel des Mascareignes, où le temps a commencé de sérieusement se dégrader. Les bourrasques de vent d'est-nord-est qui balayent violemment la façade nord à nord-ouest du département, ainsi que l'intérieur de l'île, viennent de dépasser le seuil des 100 km/h en pointe sur le littoral nord-ouest et les 120 km/h dans les Hauts habités les plus exposés (Plaine des Cafres, Hauts du Nord-Ouest de l'île). Elles s'accompagnent de fortes pluies sur le relief.

L'œil de DUMILE, occulté sur l'imagerie classique, mais bien visible sur l'imagerie radar et micro-onde, apparaît encore irrégulier et partiellement ouvert. Legs de la structure originelle du système, il demeure assez large, faisant quelque 100 km de diamètre. Malgré la poursuite du processus d'intensification, il ne se contractera plus guère, le rayon des vents maximaux ne décroissant ainsi que très modestement au fil de la journée, pour passer temporairement sous les 50 km. La définition de l'œil, très moyenne en début de journée, s'améliore cependant au fil des images radar et cela se répercute avant la fin de matinée sur l'imagerie classique, où l'œil commence à transparaître timidement, sous un voile de nuages élevés.

Le stade minimal de cyclone tropical est estimé atteint en début d'après-midi, au moment même où le centre de DUMILE



passe au plus près de La Réunion, à un peu plus de 105 km au large du littoral ouest. L'œil apparaît alors entièrement fermé sur la mosaïque radar (une des images fournies par le "vieux" radar du Colorado – sur les hauteurs de Saint-Denis – et par le tout nouveau radar de Piton Villers, récemment devenu pleinement opérationnel – cf. image et commentaires page 44).

Le département ressent fortement l'influence du météore, mais échappe au cœur central actif du phénomène, qui ne fait qu'effleurer la côte ouest de l'île (voir détails dans l'encart spécial ci-après), malgré une légère inflexion temporaire du déplacement en direction du sud-sud-est, un petit accident de trajectoire sans conséquence.

Après un petit accès de faiblesse temporaire dans l'après-midi (œil à nouveau ouvert du côté nord-ouest et perte de définition sur l'imagerie visible), la structure du météore retrouve de la consistance en fin de journée et exhibe alors quasiment sa plus belle prestance, en particulier sur l'imagerie micro-onde (voir image TRMM page 38). DUMILE est, en conséquence, crédité d'un léger supplément d'intensité, pour ce qui va s'avérer in fine constituer son maximum d'intensité, avec un vent moyen sur 10 min maximal estimé à 70 nœuds (ce qui implique des rafales maximales sur mer supérieures à 180 km/h).

Les conditions environnementales commencent ensuite à se détériorer, sans excès pour l'heure certes, avec un cisaillement vertical de vent de nord-ouest qui tend à se raffermir, mais tout en restant encore relativement modéré, et un contenu énergétique océanique en baisse, avec une température de surface de la mer sur le point de s'abaisser sous le seuil des 26°C. Cela suffit à provoquer le renversement de tendance attendu : DUMILE commence à s'affaiblir, inéluctablement.

L'imagerie satellitaire du début de journée du 4 janvier ne trompe pas ; elle est caractéristique d'un système nuageux subissant un début de destruction par cisaillement de nord-ouest. L'arrivée sur des eaux plus fraîches, au sud du 25<sup>ème</sup> parallèle Sud, contribue également à peser négativement sur la convection, qui s'affaisse et décline progressivement. Le système nuageux reste tout de même encore assez structuré et cohérent verticalement en journée de ce 4 janvier, avec un déphasage demeurant limité entre l'altitude (où figure encore la partie supérieure résiduelle de l'œil de l'extracyclone – déclassé en début de matinée) et la circulation de basses couches. L'impact du cisaillement vertical de vent croissant est, en effet, tempéré par le déplacement du système, qui s'effectue désormais dans la même direction que le flux d'altitude générant le cisaillement de vent (de ce fait atténué dans un référentiel

mobile lié au météore), après avoir incurvé sa course en direction du sud-est en milieu de journée.

Dans l'après-midi, le centre de DUMILE passe à proximité immédiate de la bouée dérivante 33659, qui affiche un minimum de pression de 975 hPa, cohérent avec un système dépressionnaire au stade de forte tempête tropicale. Ayant accéléré à plus de 50 km/h de vitesse de déplacement quelques heures plus tôt, le centre de DUMILE franchit le 30<sup>ème</sup> parallèle Sud en début de matinée du 5 janvier. Le météore vient de débiter sa phase de transition extratropicale, qui va durer une douzaine heures. Il est déclaré extratropical en fin de journée, alors qu'il vient de couper le 35<sup>ème</sup> parallèle Sud et qu'il a encore accéléré, filant maintenant à 75 km/h vers les moyennes latitudes, pour une nouvelle phase de son existence. Des vents de force tempête sont encore présents dans le demi-cercle est de la circulation dépressionnaire, qui ne concernera finalement pas Kerguelen, le centre de la dépression passant du bon côté en soirée du 6 janvier, au voisinage nord-est de l'île.

Premier cyclone tropical de la saison à menacer une terre habitée, on retiendra DUMILE, en dehors de son influence sur La Réunion, comme un bon exemple de changement de structure et comme un cas emblématique illustrant les progrès en matière de prévision cyclonique.

## DUMILE à La Réunion

Après une longue période de calme de plusieurs années, inédite dans l'histoire récente de l'île (la dernière alerte – orange ou rouge – remontant à près de six ans en arrière, avec GAMEDE en février 2007), les cyclones tropicaux ont fait un retour remarqué dans le ciel réunionnais lors de cette saison chaude 2012-2013. En l'espace de quelques semaines, deux phénomènes sont venus, coup sur coup, affecter le temps sur l'île.

Le premier, le cyclone DUMILE, a fait l'objet d'une alerte que l'on pourrait qualifier de doublement précoce en quelque sorte. Le système d'alerte cyclonique a, en effet, été activé sur le département dès la matinée du 31 décembre 2012, alors que le système dépressionnaire n'était encore qu'une simple perturbation tropicale (n°05), qui ne sera baptisée que deux jours plus tard (pour passer ensuite au plus près de La Réunion en début d'après-midi du 3 janvier 2013). Cette activation précoce du système d'alerte, avait par ailleurs été précédée d'une prise en charge elle-même anticipée de ce système dépressionnaire, puisque le premier bulletin avait été émis par le CMRS de La Réunion dès l'après-midi du 29 décembre, alors que le phénomène n'en était encore qu'à ses prémices, à un stade très embryonnaire (simple zone perturbée) ne justifiant ordinairement pas de faire déjà l'objet de bulletins spécifiques.

Mais le prévisionniste cyclone a pris l'initiative de déroger aux procédures de suivi habituelles, afin d'envoyer un signal faisant passer un message fort en terme de prévisions : à savoir une prévision de cyclone tropical passant à proximité ouest de l'île de La Réunion cinq jours plus tard. Une première prévision qui s'avérera quasiment parfaite (position prévue à 120h à moins de 120 km de la position réelle – et seulement 26 km d'erreur pour la position prévue à 96h d'échéance !). La prévisibilité, en terme de trajectoire tout particulièrement, de DUMILE, allait d'ailleurs demeurer exceptionnellement bonne l'essentiel de l'existence du phénomène durant, d'où des prévisions du CMRS extrêmement stables et remarquablement proches de la réalité finalement observée (voir graphe page 42).

L'alerte rouge occasionnée à La Réunion par DUMILE est la deuxième plus précoce sur plus de trente ans (détrônant ANDO en 2001), derrière DANIELLA, seul phénomène à avoir provoqué une mise en alerte maximale (alerte rouge – ou alerte 3 avant 1994) avant le mois de janvier (c'était le 8 décembre 1996 précisément). D'ailleurs, pour l'anecdote, le lien entre ces deux saisons 2012-2013 et 1996-1997 ne s'arrête pas là : dans les deux cas, le météore à l'origine de cette occurrence

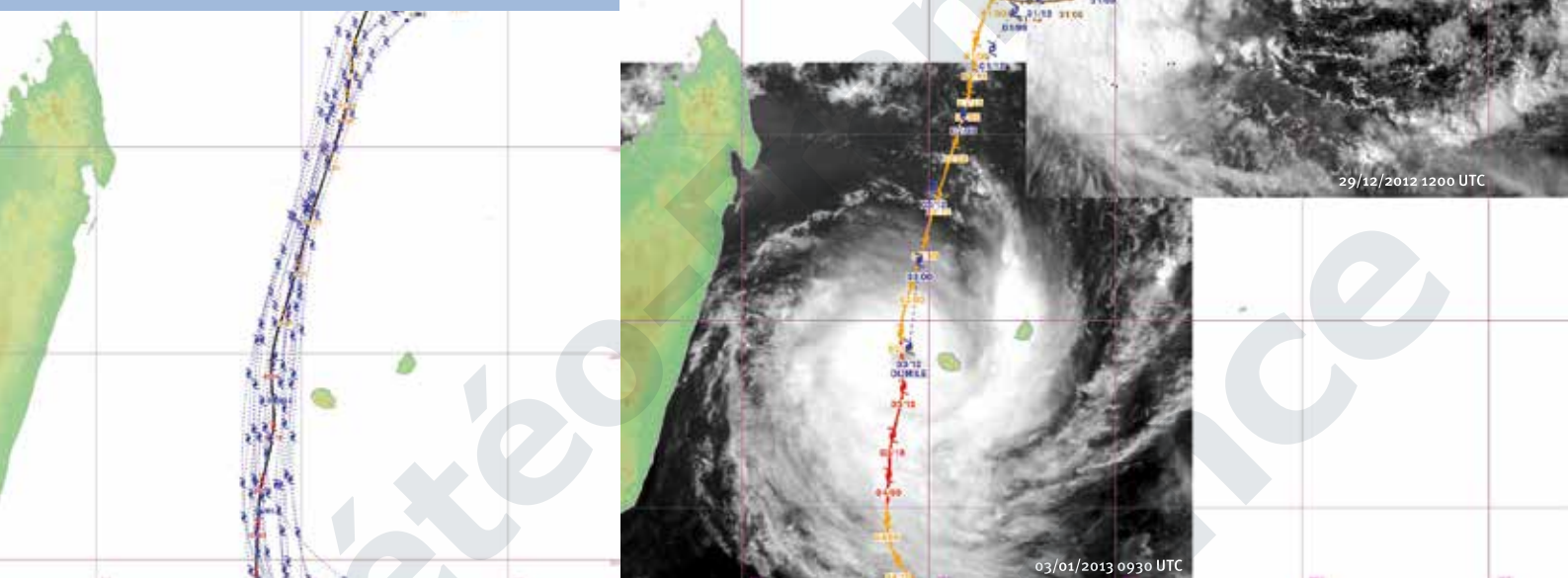
## DUMILE at La Reunion

*After a lengthy period of lull of several years, unprecedented in the recent history of the island (the last alert – orange or red – dating back almost six years, with GAMEDE in February 2007), tropical cyclones made a notable comeback to La Reunion during the 2012-2013 warm season. Within the space of a few weeks, two phenomena affected the island in quick succession.*

*The first one, cyclone DUMILE, was subject to an early alert twice so to speak, the pre-disturbance being put under close watch at an uncommon primitive stage first, while the cyclone warning system was then activated in the island as early as the morning of 31 December 2012, while the low-pressure system was nothing but a mere tropical disturbance (n°05), which would be named only two days later (thereafter passing at its closest to La Reunion at the beginning of the afternoon of 3 January 2013). That early activation of the warning system had been preceded by an anticipated monitoring of the incipient system, since the first bulletin had been issued by RSMC La Reunion as early as the afternoon of 29 December, whereas the phenomenon was only in its infancy, at a very embryonic stage (simple zone of disturbed weather) that does not normally justify the issuance of specific bulletins.*

*But the cyclone forecaster took the initiative in departing from usual procedures in order to send a signal that would convey a strong message in terms of forecasting : namely predicting that a tropical cyclone would transit nearby the west of Reunion Island five days later. An initial forecast which proved to be almost perfect, the 120h forecast position being situated at less than 120 km from the real position (while the direct position error was only 26 km for the 96h forecast position!). Predictability, particularly in terms of track forecast, was exceptionally good during most of the life-cycle of DUMILE ; hence extremely consistent forecasts that were remarkably close to the eventually observed reality (see graph next page).*

*The red alert declared in La Reunion due to DUMILE's approach was the earliest but one for more than thirty years (ousting ANDO in 2001), behind DANIELLA, the only phenomenon to have caused the enforcement of a maximum stage of alert (red alert – or alert 3 before 1994) before the month of January (it was on 8 December 1996 to be precise). Besides, incidentally, the link between the two seasons 2012-2013 and 1996-1997 goes further : in both cases, the meteor at the origin of the early red alert was at the same time the fourth named system and the third tropical cyclone of the season and, that was another coincidence, the last time the third cyclone in order of appearance during the season had formed earlier than DUMILE, was during the 1996-1997 season, with cyclone DANIELLA precisely ...*



**DUMILE : une prévisibilité exceptionnelle.** Des prémices de sa genèse jusqu'à sa phase mature, le comportement de DUMILE, que ce soit en terme de trajectoire mais même d'évolution d'intensité ou de structure, a pu être anticipé avec un degré de précision nettement supérieur à la moyenne. Sur la carte ci-dessus, la première prévision de trajectoire diffusée par le CMRS de La Réunion, le 29 décembre 2012 à 12 utc (en bleu), a été superposée à la trajectoire effectivement suivie par DUMILE. Les prévisions à longue échéance s'avèrent extrêmement proches de la réalité et il ne s'agissait pas d'un cas isolé chanceux, comme le montre le faisceau de l'ensemble des prévisions de trajectoires ultérieures (carte de gauche), remarquablement concentré autour de la trajectoire observée ( $\pm 60-70$  km).

**DUMILE : an exceptional predictability.** From the very first signs of its genesis to its mature phase, it was possible to anticipate DUMILE's behaviour, whether in terms of trajectory and even of evolution of intensity or structure, with a degree of accuracy that was clearly above average. On the map above, the first track forecast issued by RSMC La Reunion, on 29 December 2012 at 12 utc (in blue), was superimposed on the track actually followed by DUMILE. The long-range forecasts proved to be extremely close to reality and that was not a lucky isolated case, as shown by the much reduced spread of the cluster of all the subsequent track forecasts (left map), remarkably packed around the observed track (at  $\pm 60-70$  km).

d'alerte rouge précoce était à la fois le quatrième système baptisé et le troisième cyclone tropical de la saison et, coïncidence supplémentaire, la dernière fois que le troisième cyclone par ordre d'apparition dans la saison avait vu le jour plus tôt que DUMILE, c'était lors de la saison 1996-1997, avec le cyclone DANIELLA justement... Si DUMILE a constitué une bonne piqure de rappel pour ceux qui auraient oublié que La Réunion demeure une "terre de cyclones", il a, toutefois, eu la mansuétude d'épargner à l'île un impact trop sévère. Cyclone peu puissant, à la fois en terme d'intensité (puisque n'atteignant en fait le stade de cyclone tropical qu'au moment même où il se situait déjà au plus près des côtes réunionnaises) et en terme de taille, sa trajectoire l'a, qui plus est, fait passer à la distance juste suffisante (centre à un peu plus de 100 km au plus près) pour que le cœur actif du météore ne fasse qu'effleurer la façade ouest de l'île. De sorte que la dégradation des conditions météorologiques est demeurée dans des limites supportables... Elle a, en outre, été limitée dans le temps, car l'épisode de temps très perturbé a été peu durable, le météore se déplaçant plutôt vite (30 km/h de vitesse moyenne de déplacement en journée du 3 janvier) au moment où il influençait réellement le département. DUMILE n'était pas le "cyclone du siècle", ni même de la décennie. Et il ne rejoindra donc pas la longue liste des cyclones de triste mémoire ayant durement frappé La Réunion.

Située dans le demi-cercle dangereux, l'île a, malgré tout, ressenti sensiblement son influence, mais de manière inégale selon les régions. En fait, seuls les endroits les plus exposés aux vents de nord décollant de la trajectoire faisant transiter le cyclone à l'ouest de La Réunion, ont réellement eu à souffrir du passage du météore, à savoir essentiellement la façade ouest de l'île, la région des Plaines (tout particulièrement le secteur de La Plaine des Cafres/Hauts du Tampon), ainsi que le flanc est du volcan (secteurs Bois Blanc/Tremblet). Balayés par des vents violents, supérieurs aux 100 km/h en rafale sur le littoral (137 km/h de valeur maximale mesurée au Port) et excédant localement le seuil des 150 km/h dans les Hauts (162 km/h de valeur maximale mesurée à la Plaine des Cafres), ces secteurs ont connu beaucoup de casse au niveau de la végétation (l'absence d'élagage naturel depuis quelques années – du fait de l'absence de cyclones – expliquant pour beaucoup cet état de fait). Sur le reste du département, i.e. la majeure partie de l'île, les vents sont quasiment partout restés inférieurs au seuil des vents forts (100 km/h de rafale maximale), bien loin donc des conditions cycloniques (définies par le seuil des 150 km/h de rafale maximale), et il n'y a pas eu de dommages importants.

La houle, bien que forte, n'a pas non plus eu de conséquences par trop préjudiciables. Les trois houlographes présents le long du littoral nord-ouest de l'île, ont indiqué des hauteurs de houle significative ( $H_{1/3}$  : valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues observées sur une durée de 30 minutes) excédant les 4 m durant une petite douzaine d'heures seulement, avec une hauteur maximale de 6,3 m relevée à la Pointe du Gouffre (le long de la route en corniche), la vague la plus haute y atteignant les 11 m un peu avant le moment du passage au plus près de DUMILE. Ces valeurs maximales sont très proches de celles observées (6,2 et 10,6 m respec-

DUMILE was a real booster shot for those who would have forgotten that La Reunion is a land affected by cyclones. Yet, it was kind enough to spare the island too severe an impact. Not only a cyclone of limited power, both in terms of intensity (a first level cyclone at the time when it passed at its closest to the French department) and of size, but also a storm whose trajectory brought it at a distance that was just enough for the active core of the meteor only to brush past the western coast of the island (cyclone's centre passing a little more than 100 km offshore at its closest). So that the worsening of the weather conditions remained reasonably bounded... In addition to that it was time-limited, because the episode of very disturbed weather did not last long, as the meteor was moving rather quickly (30 km/h of average speed of motion during 3 January) at the time when it really affected the island. DUMILE was not the "cyclone of the century", not even of the decade. It won't be added to the long black list of cyclones that left disaster in their wake and cruelly hit La Reunion.

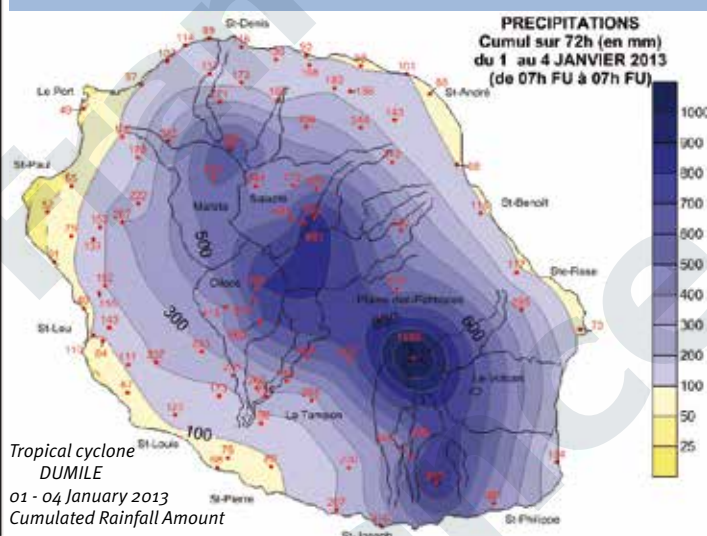
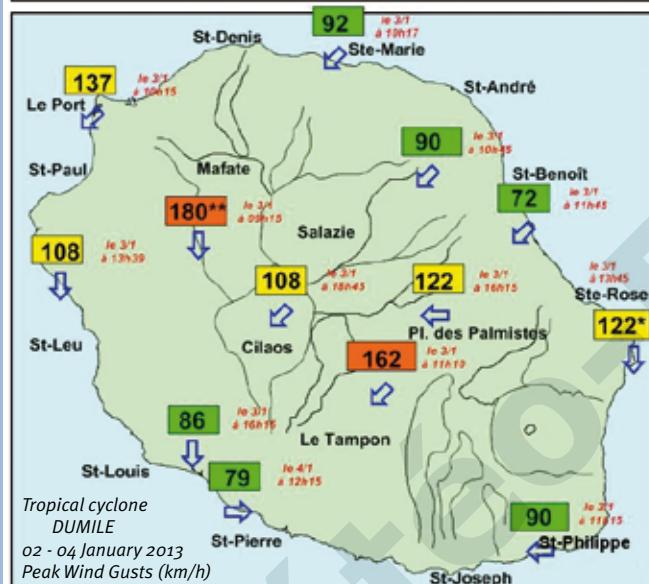
Situated in the dangerous semi-circle, the island, in spite of everything, noticeably felt its influence, but unevenly according to the regions. In fact, only the places which were the most exposed to the northerly wind stemming from the track that drove the cyclone to transit to the west of the island, really suffered from the passage of the meteor, namely essentially the western region of the island, the area around the Plains (particularly the Plaine des Cafres/Tampon heights sectors), and also the eastern side of the volcano (the Bois Blanc/Tremblet sectors). Swept by violent winds, with gusts over 100 km/h on the seaboard (137 km/h of maximum value recorded at le Port – harbour city) and exceeding locally the 150 km/h threshold in the upper inhabited hinterland (162 km/h of peak gust measured at Plaine des Cafres), those sectors suffered from serious damage to the vegetation (the fact that trees had not been naturally pruned for years because of the absence of cyclones, largely accounted for that state of things). The rest of the territory, i.e. most of the island, did not suffer from any major damage as the winds remained almost everywhere below the threshold of strong winds (maximum gust of 100 km/h), and therefore quite far from the "cyclone conditions" (defined by the 150 km/h threshold of peak gust).

Although the swell was strong, it did not have too prejudicial consequences either. The three wave rider buoys along the northwest coast of the island, indicated significant wave heights ( $H_{1/3}$ : average value of the top third of wave heights observed for 30 minutes) exceeding 4 m for only 12 hours or so, with a maximum height of 6.3 m recorded at Pointe du Gouffre (along the cliff road), the highest wave reaching 11 m a short while before the moment when DUMILE passed at its closest to the island.

Those maximum values were very close to those observed (6.2 and 10.6 m respectively) during the latest episode of cyclone swell, dating from February 2009, when cyclone GAEL had passed off the western Reunionese seaboard. GAEL had transited much farther than DUMILE (nearly 300 km at its closest), but it was both a more intense and a wider cyclone; hence in the end an almost similar cyclone swell, except that that swell was far more energetic (the period of the highest waves being about 14 seconds, compared to only 10s for DUMILE) and had lasted much longer ( $H_{1/3}$  exceeding 4 m for nearly 48h at Pointe du Gouffre).



## CYCLONE TROPICAL "DUMILE" Rafales maximales en km/h du 2 au 4 janvier 2013



tivement) lors du dernier épisode de houle cyclonique en date, datant de février 2009, quand le cyclone GAEL était passé au large des côtes réunionnaises. GAEL avait circulé beaucoup plus loin que DUMILE (près de 300 km au plus près), mais était un cyclone à la fois plus intense et surtout de plus grande dimension, d'où à l'arrivée une houle cyclonique relativement comparable, à ceci près que cette houle était beaucoup plus énergétique (la période des vagues les plus hautes étant de l'ordre de 14 secondes, contre seulement 10 s pour DUMILE) et avait duré beaucoup plus longtemps (H1/3 supérieures à 4 m pendant près de 48h à la Pointe du Gouffre). DUMILE était un cyclone tropical plutôt compact, se déplaçant qui plus est à bonne vitesse (filant à 30 km/h en journée du 3 janvier), et surtout relativement dénué de bandes pluvieuses périphériques.

Comme en témoigne on ne peut mieux l'imagerie radar, La Réunion a échappé au cœur actif du météore, qui n'a fait "qu'égratigner" la façade ouest de l'île (où les précipitations ont d'ailleurs été minimes). DUMILE n'a, en conséquence, pas généré de précipitations importantes sur les zones côtières (moins de 100 mm sur la majeure partie du littoral, seul le littoral du Sud sauvage ayant reçu un arrosage conséquent). L'essentiel des précipitations a résulté du forçage orographique et a donc concerné les Hauts de l'île, avec un différentiel exacerbé entre les Hauts et les Bas.

Scénario inhabituel, ce ne sont pas les zones au vent de l'île qui ont été les plus arrosées. Ce fait s'explique par la quasi absence d'advection de bandes pluvieuses au moment de l'approche finale du météore et lors du passage au plus près. Portées par les vents de nord, les précipitations orographiques se sont ainsi déversées préférentiellement sur les Hauts sous le vent. Cela a été particulièrement manifeste pour le versant sud du volcan de La Fournaise : 845 mm de cumul maximal en 48h à La Crête/St-Joseph (650 m d'altitude), à comparer avec une valeur de 280 mm seulement relevée dans les Hauts de Ste-Rose (820 m d'altitude) sur le versant opposé au vent (flanc nord du volcan), ou encore avec les 252 mm de cumul maximal observé au Brûlé/St-Denis (hauteurs du Nord – 1065 m d'altitude), à des altitudes pourtant supérieures.

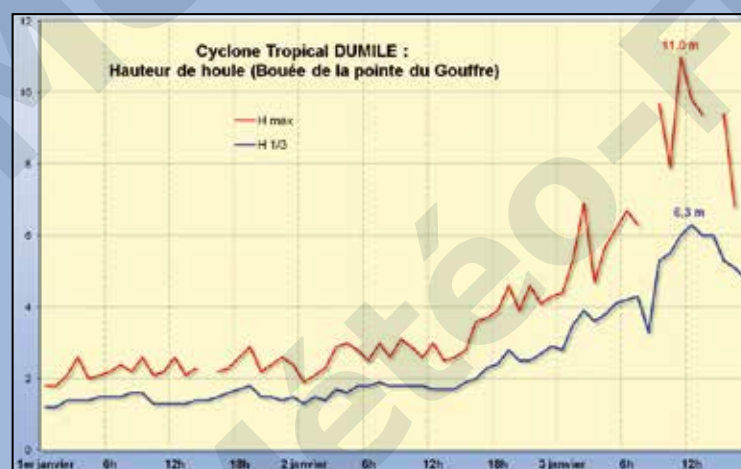
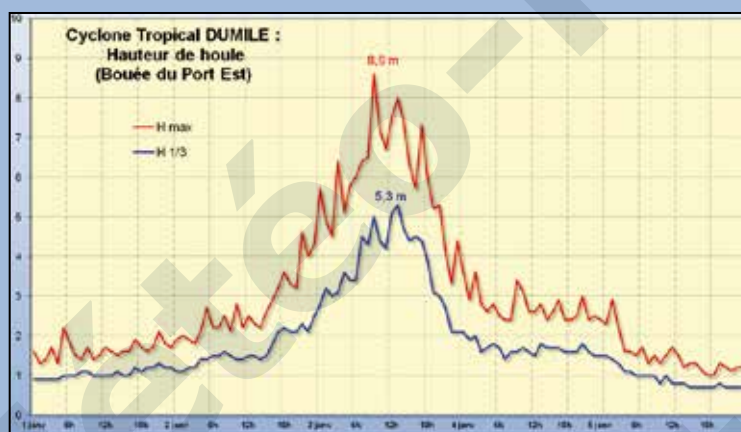
Le gros des précipitations est tombé en l'espace de 12h, le 3 janvier, quand DUMILE était le plus proche de La Réunion, mais l'épisode pluvieux a duré plus longtemps, 48h, voire localement un peu plus. En 3 jours, du 1<sup>er</sup> au 4 janvier, on a recueilli, pour les valeurs les plus remarquables : 1189 mm au Cratère Commerson (massif

DUMILE was rather a compact tropical cyclone, moreover moving at a fairly high translatory speed (30 km/h during 3 January), and above all relatively void of peripheral rain bands. As attested quite clearly by the radar imagery, La Reunion avoided the active core of the meteor, which just grazed the western coast of the island (where the rainfall was in fact minimal). Consequently DUMILE did not generate heavy rains on the coastal area (less than 100 mm on most of the shoreline except the "wild South" coast which was affected by significant rainfall). Most of the rainfall resulted from the forced uplift along the slopes of the mountains and therefore concerned the heights of the island, with an exacerbated differential between the high lands and the low lands.

The areas that received the heaviest rainfall were not located on the windward side of the island, an unusual scenario. That could be explained by the fact that there was almost no advection of rain bands on the final approach of the meteor and during its passage at its closest. Pushed along by the northerly wind, the orographic rains thus poured mostly over the leeward heights. That was particularly obvious for the southern slopes of La Fournaise volcano : 845 mm of maximum cumulated rainfall amount recorded in 48h at La Crête/St-Joseph (elevation : 650m), compared with a value of only 280 mm recorded in the heights of Sainte-Rose (elevation : 820 m) on the leeward side (northern slope of the volcano), or else with the 252 mm of maximum cumulated amount observed at Brûlé/St-Denis (northern heights – elevation : 1065 m), at higher altitudes though.

The bulk of the rain fell within the space of 12h, on 3 January, when DUMILE was at its closest to La Reunion, but the rain episode lasted longer, 48h, even a little longer locally. Within 3 days, from 1 to 4 January, the following amounts were recorded (for the most remarkable values) : 1189 mm at Commerson's Crater (volcano area – elevation : 2310 m), of which 1187 mm pelted down in 48h and 991 mm in 24h (762 mm in 12h) ; 845 mm at La Crête/St-Joseph, of which 721 mm poured in 24h and 578 mm in 12h; 796 mm at Cilaos, of which 786 mm fell in 48h and 666 mm in 24h (478 mm in 12h); 861 mm at Hell-Bourg (Salazie amphitheatre), of which 845 mm fell in 48h and 652 mm in 24h (467 mm in 12h) ; 620 mm at Aurère (Mafate amphitheatre), of which 615 mm fell in 48h and 535 mm in 24h (413 mm in 12h).

Those rainfall amounts corresponded to a rather classic cyclone related rain event, with important rainfall amounts indeed but remaining within the norm regularly observed in La Reunion. Remarkable though they were for a cyclone that moved



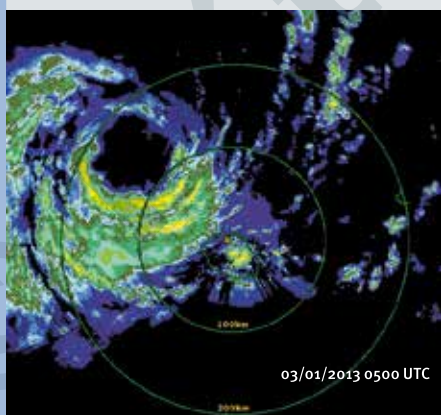


**DUMILE "égratigne" La Réunion** (tel que vu par l'imagerie radar). La Réunion dispose depuis fin 1993 d'un radar Doppler 10 cm installé sur le site du Colorado, sur les hauteurs dominant la capitale Saint-Denis (à environ 700 m d'altitude). Hormis l'interruption de service intervenue durant l'essentiel de l'année 2002, suite à sa destruction par le cyclone DINA, ce radar a rendu d'immenses services depuis près de 20 ans dans le suivi des précipitations et des cyclones. Mais du fait du relief de l'île, il n'a pas la capacité de "voir" les hydrométéores présents dans les azimuts sud-est à sud-ouest de l'île. Pour pallier cette cécité partielle, un second radar (Doppler 10 cm polarimétrique) a été mis en service en 2012. Installé au sommet du Piton Villers, à la Plaine des Cafres (plateau au centre-est de l'île, à environ 1500 m d'altitude), il procure une bonne vision de la partie de l'horizon au sud de l'île non couverte par le radar du Colorado.

L'imagerie ci-contre est une mosaïque composite, obtenue à partir des données de réflectivité issues des deux radars du Colorado et de Piton Villers. Il s'agit de l'une des toutes premières mosaïques radar fabriquées et restera comme la toute première avec un cyclone tropical visible dessus, permettant de voir en entier l'œil et le mur de l'œil de DUMILE, alors que celui-ci évolue dans l'ouest-sud-ouest de La Réunion (chaque radar ne pouvant, dans cette situation, capter qu'environ la moitié seulement de la structure des précipitations générées par le météore, du fait du masque du relief).

L'œil, très large (près de 100 km de diamètre), pourrait sans problème englober l'île toute entière.

Ces images illustrent parfaitement le fait que La Réunion a échappé au cœur actif du météore, en l'occurrence à l'anneau de fortes précipitations entourant l'œil, et sous lequel sévissaient également les vents les plus violents. Comme souvent, cela s'est joué à peu de choses. Un passage 50 km plus à l'est aurait fait une grande différence...



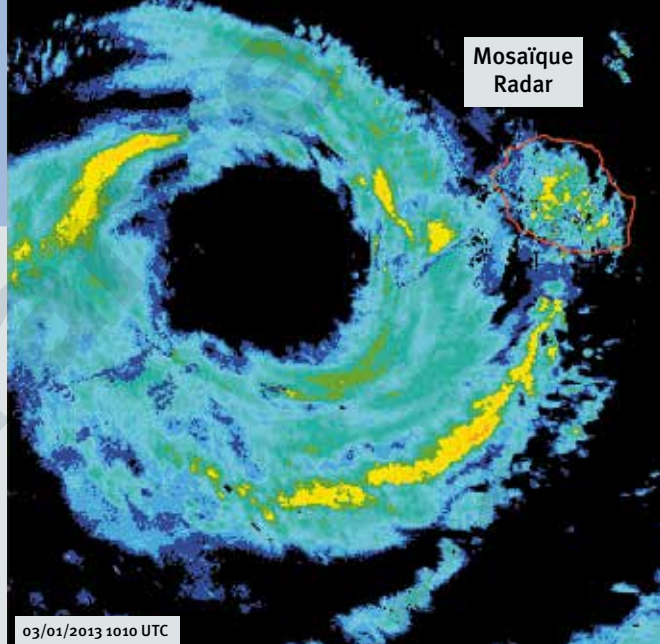
see in their entirety DUMILE's eye and eyewall, while the cyclone was evolving to the west-southwest of La Reunion (each radar being able, in that situation, to pick up only about half of the structure of the field of rainfall generated by the meteor, due to the masking effect of the relief). The very wide eye (nearly 100 km in diameter), could easily encompass the whole island.

The imagery perfectly highlights the fact that La Reunion avoided the active core of the meteor, in this case the ring of heavy rains surrounding the eye, and under which the most violent winds were also raging. As is often the case, it was a narrow escape. Had the cyclone passed 50 km farther to the east, things would have been quite different...

du volcan – altitude 2310 m), dont 1187 mm en 48h et 991 mm en 24h (762 mm en 12h) ; 845 mm à La Crête/St-Joseph, dont 721 mm en 24h et 578 mm en 12h ; 796 mm à Cilaos, dont 786 mm en 48h et 666 mm en 24h (478 mm en 12h) ; 861 mm à Hell-Bourg (Cirque de Salazie), dont 845 mm en 48h et 652 mm en 24h (467 mm en 12h) ; 620 mm à Aurère (cirque de Mafate), dont 615 mm en 48h et 535 mm en 24h (413 mm en 12h).

Ces quantités de précipitations sont représentatives d'un épisode cyclonique assez classique, avec des lames d'eau importantes, mais restant dans la norme de ce que l'on observe régulièrement à La Réunion. Bien que remarquables pour un cyclone se déplaçant aussi rapidement, elles restent, ainsi, très loin des quantités de pluies (pour certaines records il est vrai) recueillies lors de l'épisode GAMEDE en 2007, cyclone dont le centre était pourtant resté beaucoup plus au large du département. Sans être phénoménales (pour La Réunion s'entend...), certaines intensités pluvieuses enregistrées dans l'intérieur de l'île au plus fort de l'épisode DUMILE, étaient tout de même très fortes et quelques postes pluviométriques ont ainsi enregistré des valeurs correspondant à des durées de retour décennales (i.e. qui, statistiquement, peuvent s'observer en moyenne tous les 10 ans). Cela a, notamment, été le cas pour les quantités de pluies maximales en 12h recueillies à Aurère, La Crête, Cilaos ou au cratère Commerson (ci-avant mentionnées).

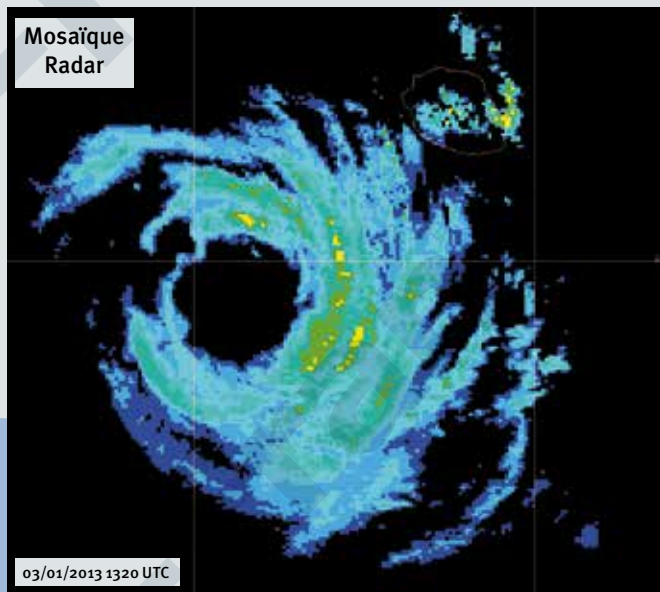
Mis à mal par plusieurs années de sécheresse, le Sud de l'île a été le premier bénéficiaire des pluies apportées par DUMILE. Cela a été particulièrement vrai pour le Sud sauvage, où la rivière Langevin a retrouvé une vigueur presque oubliée, revivant après des mois de débit famélique. La crue générée par DUMILE n'a toutefois rien eu d'exceptionnel, la durée de retour étant estimée à trois ans. Sur les autres cours d'eau de l'île, la période de retour a même été généralement inférieure à deux ans. La durée limitée de l'épisode pluvieux a, en outre, entraîné une chute rapide des débits après la fin de l'événement. Pour la rivière Langevin cependant, le gain a tout de même été appréciable, puisque le débit a été multiplié presque par trois entre avant et après DUMILE (source : Office de l'Eau Réunion). Les nappes phréatiques ont également bénéficié du passage de DUMILE et ont vu une remontée de leur niveau, mais dans des proportions insuffisantes pour combler les déficits antérieurs. D'autres épisodes de fortes pluies seraient nécessaires pour cela...



03/01/2013 1010 UTC

**DUMILE while grazing La Reunion** (as shown by the radar imagery). Since the end of 1993, La Reunion has benefited from a 10 cm Doppler radar settled on the Colorado site, on the heights above Saint-Denis, the capital city (at an altitude of about 700 m). Except during its service interruption during most of the year 2002, following its destruction by cyclone DINA, this radar has been a very great help for almost 20 years as for the monitoring of rainfall and of cyclones. But because of the mountain relief of the island, it is unable to "see" the hydrometeors present in the southeast to southwest azimuths of the island. In order to make up for this partial blindness, a second radar (a 10 cm polarimetric Doppler radar) was implemented in 2012. Settled at the top of Piton Villers, at Plaine des Cafres (a plateau in the centre of the island, at an altitude of about 1500 m), it provides a good view over the part of the horizon to the south of the island which is not covered by the radar at Colorado.

The image above is a composite mosaic, obtained from the reflectivity data coming from the two radars at Colorado and at Piton Villers. It was one of the first radar mosaics produced and it will be remembered as the very first on which a tropical cyclone could be seen. It made it possible to

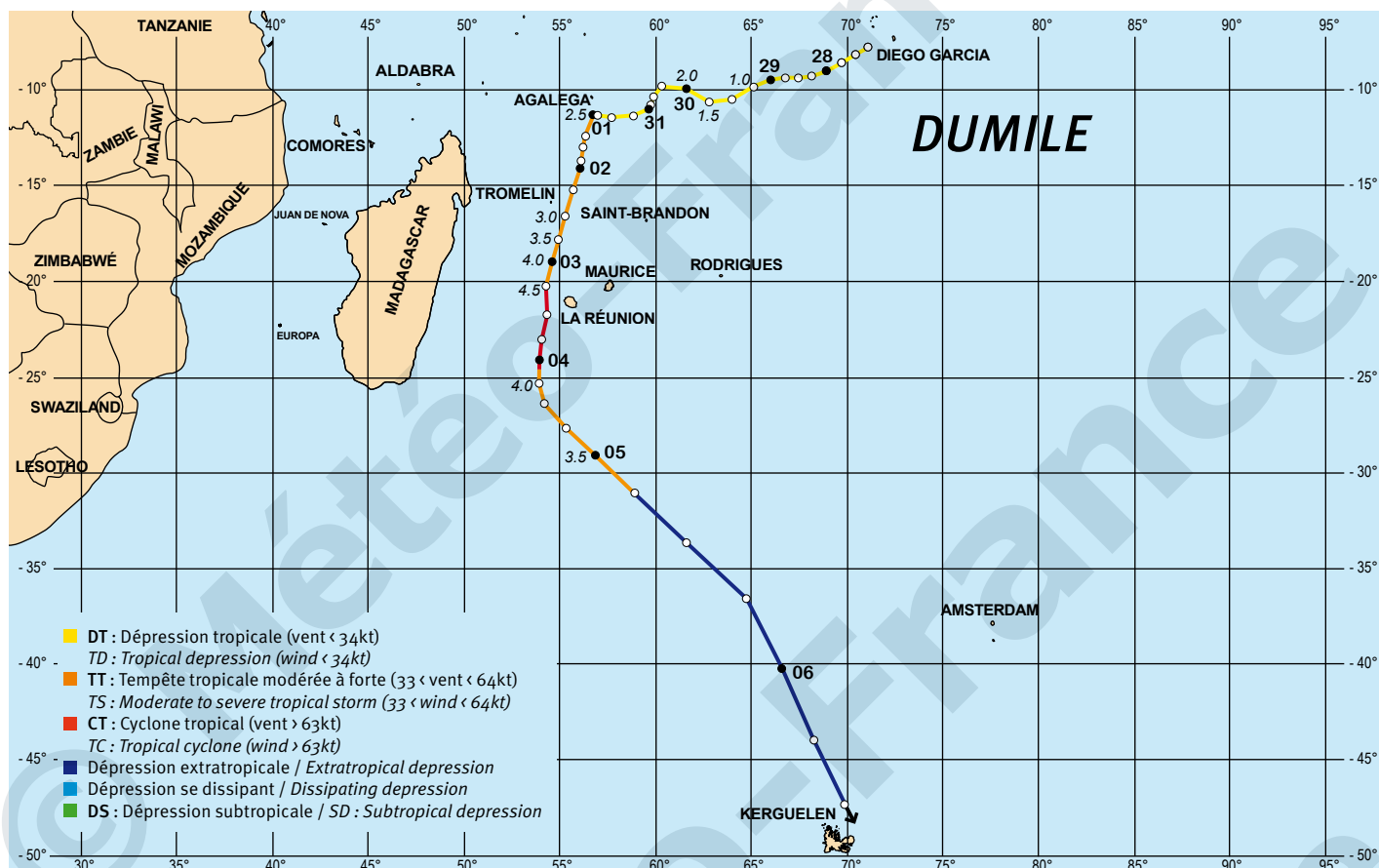


03/01/2013 1320 UTC

so rapidly, they cannot compare with the rainfall amounts recorded during the last episode of GAMEDE in 2007 (which broke some world records for some of them), a cyclone whose centre had remained much farther off the island yet. Without being phenomenal (for La Reunion of course...), some rainfall intensities recorded inland at the height of the DUMILE episode were all the same quite high and some rain gauge stations recorded values corresponding to decennial return periods (i.e. which, statistically, can be observed every 10 years on average). It was notably the case for the maximum rainfall amounts in 12h recorded at Aurère, La Crête, Cilaos or at Commerson's Crater (mentioned above).

Severely affected by several years of drought, the South of the island was the first to benefit from the rains brought by DUMILE. It was particularly true for the "wild South", where the Langevin River recovered an almost forgotten vigour, coming back to life following months of trickling. However, the rising of the water level generated by DUMILE had nothing exceptional about it, the return period being estimated at three years. As far as the other rivers of the island were concerned, the return period was even below two years generally speaking. Besides, the limited duration of the rain episode resulted in a rapid fall in the rate of flow after the event came to an end. For the Langevin River however, the increase was all the same noticeable, since the rate of flow was nearly multiplied by three between before and after DUMILE (source : Water Office in La Reunion). The ground water also benefited from DUMILE's passage and its level went up, but insufficiently to make up for the previous deficit. Other rain events would be necessary to solve the problem...

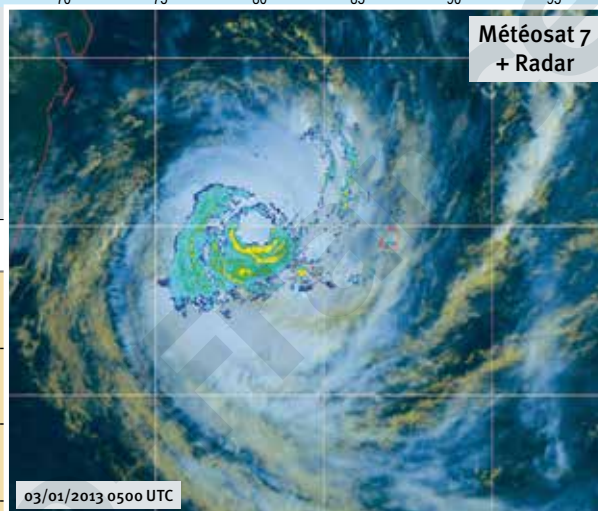




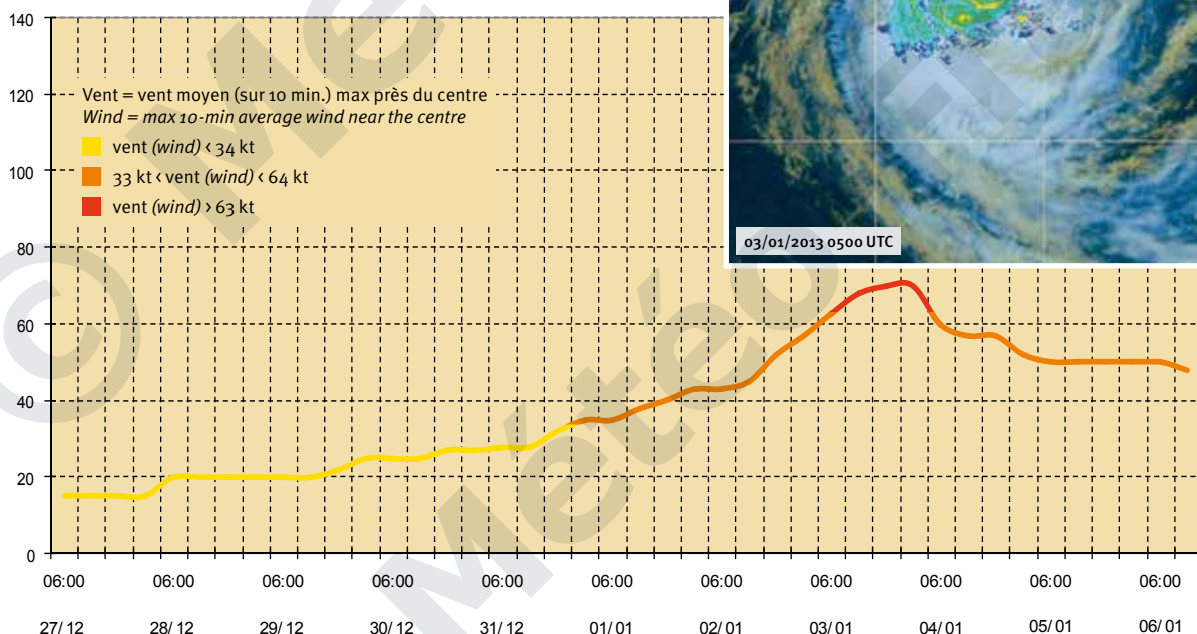
Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

**DUMILE au nord-ouest de La Réunion.** Située en périphérie immédiate de la partie centrale active du météore, bien discriminée ici du reste de la masse nuageuse par l'image en réflectivité du radar du Colorado superposée, l'île est déjà balayée localement par de puissantes bourrasques de vent et s'apprête à passer en alerte rouge (une heure plus tard).

**DUMILE to the northwest of La Reunion.** Situated at the close periphery of the active central part of the meteor, clearly highlighted here from the rest of the cloud mass by the superimposed reflectivity image from the radar at Colorado, the island was already locally swept by powerful gusts of wind and was about to be put on red alert stage (one hour later).



DUMILE du 27/12 au 26/01/2013



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 8 au 19 janvier 2013

*Moderate Tropical Storm "Emang" (8-19 January 2013)*



### FORMATION

**E**

MANG présente le paradoxe d'avoir été la tempête tropicale la plus éphémère et la plus insignifiante de la saison, tout en ayant été le système dépressionnaire avec la plus longue durée de vie, puisque suivi pendant plus de trois semaines.

Les prémices de ce système sont, en effet, contemporains de ceux de DUMILE, remontant au 27 décembre 2012, date à laquelle deux zones d'activité convective suspectes sont présentes sur le bassin, en lien avec le talweg de mousson, et alors que prévaut à ce moment-là sur la partie centrale de l'océan Indien une phase humide de la MJO (oscillation de Madden-Julian). L'une, évoluant à proximité sud-ouest de l'archipel des Chagos et de Diego Garcia, donnera naissance quelques jours plus tard au futur cyclone tropical DUMILE ; l'autre, située sur l'extrême nord-est de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion, connaîtra un destin beaucoup plus anecdotique, débouchant, après une gestation interminable de plus de 15 jours (!), sur la fugace et modeste tempête tropicale modérée EMANG.

En dépit des augures de la modélisation numérique, qui lui prédisaient pourtant un réel avenir, cette zone perturbée va, en effet, demeurer au stade de simple velléité pendant ce laps de temps effarant, le plus étonnant finalement, étant qu'elle parvienne à survivre durant une période aussi longue. Totalement inhibé par un cisaillement vertical de vent d'est opiniâtrement hostile, l'embryon de perturbation va ainsi végéter à un stade faible jusque durant les premiers jours de janvier, puis dans un état quasiment moribond ensuite les jours suivants, quand le centre de la circulation de basses couches devient pour ainsi dire indétectable, escamoté au

sein d'une ZCIT diffuse. Mais alors qu'il semblait s'être dissipé pour de bon, il reparait dans la nuit du 8 au 9 janvier, vers 11°Sud/84°Est, via la faible circulation dépressionnaire identifiée sur le champ de vents dérivé des données diffusiométriques Oceansat, et encore mieux mise en exergue dans les heures suivantes sur l'imagerie satellitaire, du fait du développement d'un puissant amas de convection profonde dans la partie occidentale de cette zone de basses pressions. Amas convectif qui fait toutefois long feu, s'effondrant tout aussi rapidement qu'il était apparu, dès avant la mi-journée du 9... Preuve que cette velléité de semblant d'organisation n'était qu'un faux départ et que le chemin est encore long avant que puisse éventuellement émerger un système dépressionnaire digne de ce nom. De fait, la zone perturbée retourne à un état d'organisation très primitif, avec une activité convective à nouveau fluctuante et chaotique, même si un foyer principal continue d'être rattaché au minimum dépressionnaire, qui continue d'être suivi, tant bien que mal, grâce à l'apport essentiel des vents diiffusiométriques issus des orbites successives Ascet et Oceansat.

Ce n'est qu'en fin de nuit du 10 au 11 janvier que la situation se décante enfin, avec le premier vrai début de (re)structuration du système depuis près d'une semaine : une bande convective converge vers un petit vortex de nuages bas et moyens fraîchement formé, qui ceint un centre de circulation de basses couches enfin bien défini (voir images page 48). A ce stade, le creusement demeure cependant marginal, si ce n'est infinitésimal, comme en atteste la valeur de pression relativement élevée (et quasiment inchangée par rapport à la veille) affichée par la bouée ancrée du réseau RAMA (53006),

qui se situe non loin au nord du minimum dépressionnaire, juste en marge externe du petit vortex nuageux précité. Les vents n'excèdent d'ailleurs pas les 15 nœuds dans le demi-cercle nord de cette fragile circulation dépressionnaire, le flux de mousson demeurant très indirect et peinant grandement à venir converger vers la perturbation naissante (le courant d'ouest proche-équatorial, assez vigoureux – comme il se doit avec la pulsation de MJO alors en pleine phase active sur la zone Sud-Est de l'océan Indien –, demeurant très zonal et étant aspiré vers la partie orientale du bassin océanique pour venir plutôt alimenter le cyclone tropical NARELLE, qui évolue alors au nord-ouest de l'Australie – voir image large et commentaires page 48).

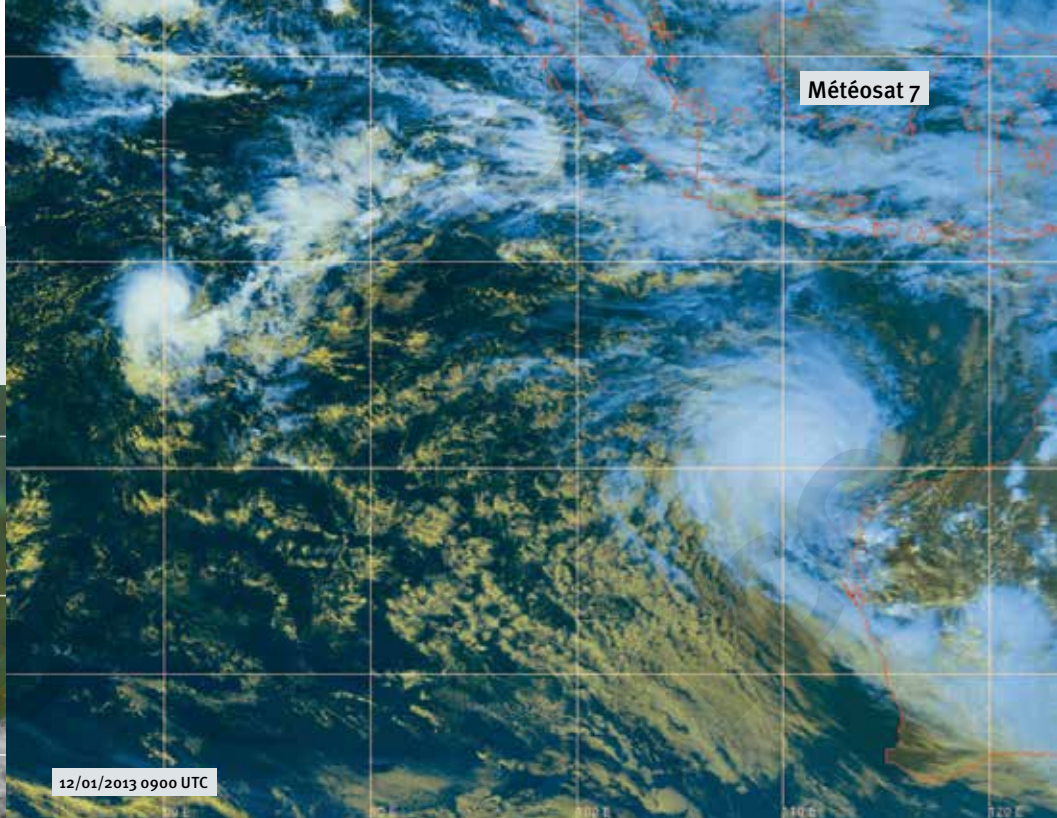
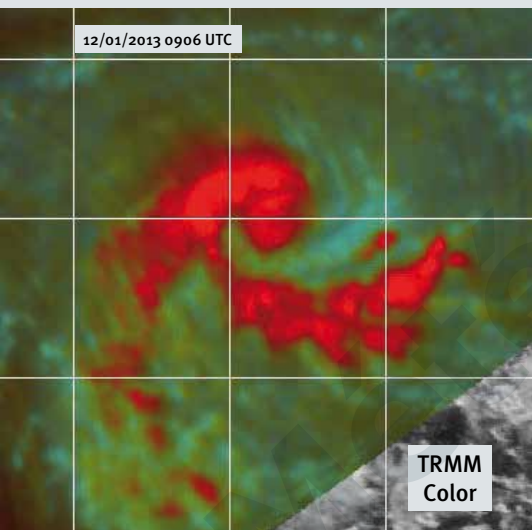
La présence de la bouée ancrée va s'avérer extrêmement précieuse pour suivre l'évolution de la perturbation, dont la trajectoire erratique va la maintenir à proximité de cette bouée durant plus de 48h. Alors qu'elle se déplaçait sur un cap sud-ouest depuis la veille, la perturbation a, en effet, complètement changé de direction, se voyant refoulée vers le nord-est (puis le nord-nord-ouest le 12), sur une trajectoire toujours aussi hésitante et de plus en plus tortueuse. La poussée anticyclonique subtropicale à l'origine de cette lente remontée vers le nord, s'accompagne d'un renforcement de l'alizé, ce qui contribue à améliorer la convergence de basses couches. Conséquence directe ou pas, toujours est-il que l'on note une vive reprise de la convection à proximité du centre dépressionnaire en début de journée du 12 janvier, avec des courbures nuageuses qui confèrent au système l'apparence d'une petite dépression tropicale.

### EVOLUTION

Contrairement à ce qui s'était passé quelques jours plus tôt, ce regain d'activité convective s'avère ne pas être qu'une simple flambée temporaire, se prolongeant et se confirmant cette fois-ci en journée, ce en dépit du cycle diurne et malgré le maintien d'une contrainte cisailée d'est encore bien présente. L'impact sur le système dépressionnaire est immédiat et, événement rare dans le bassin, mesurable, grâce à la bouée ancrée 53006, sur laquelle le minimum dépressionnaire a le bon goût de passer quasiment directement en début d'après-midi. La valeur de pression alors indiquée par la bouée est de 992.4 hPa (non corrigée de la marée barométrique), avec un vent faible. Une heure plus tard, la pression est remontée



La tempête tropicale modérée EMANG et le cyclone tropical NARELLE sur la partie orientale de l'océan Indien Sud tropical. EMANG atteint alors ce qui constituera son maximum d'intensité, tandis que NARELLE a commencé de s'affaiblir. La différence de taille entre les deux phénomènes saute aux yeux sur cette image.



Moderate tropical storm EMANG and tropical cyclone NARELLE over the eastern part of the tropical southern Indian Ocean. EMANG was then reaching what will turn out to be its maximum of intensity, while NARELLE had begun to weaken. The difference in size between the two phenomena is quite obvious on the image.

fortement (avec 998.0 hPa), tandis que le vent est mesuré à 33 nœuds, ce qui laisse supposer que du coup de vent est probablement présent au voisinage du rayon des vents maximaux. La signature nuageuse satellitaire n'a jamais été aussi avantageuse, que ce soit sur l'imagerie classique ou micro-onde (voir images ci-dessus), et ne va pas à l'encontre d'un classement au stade minimal de tempête tropicale modérée (EMANG ne sera toutefois baptisé par le Service Météorologique de Maurice qu'en début de journée du 13 janvier).

On ne se doute pas encore que le système a déjà atteint le summum de son potentiel et n'ira pas plus loin en terme d'intensité. Les modèles numériques prévoient pourtant la poursuite d'une intensification régulière, la plupart jusqu'au stade de cyclone tropical mature à moyenne échéance. On sera loin du compte. Non seulement la perturbation ne parviendra à aucun moment à prendre son essor, mais sa structure nuageuse se détériore dès la fin de journée de ce 12 janvier, avec une convection qui s'étiole. Et ce n'est pas la bande incurvée constituée en fin de nuit suivante qui peut faire illusion bien longtemps. L'on se retrouve rapidement avec un système souffreteux (qui ne justifie déjà plus un classement en tempête tropicale), au sein duquel la convection peine à se maintenir, laissant ainsi entrevoir un vortex de basses couches et un centre de la circulation dépressionnaire associé, partiellement exposés.

Les observations successives de la bouée ancrée 53006, témoignent tout au long de

## FORMATION

*Paradoxically EMANG was the shortest-lived and the most insignificant tropical storm of the season, while being the system with the longest life-cycle, since it was monitored for more than three weeks. As a matter of fact, the early infancy of that system was contemporary with DUMILE's, dating back 27 December 2012, when two suspect areas of convective activity were present over the basin, in connection with the monsoon trough, while a moist phase of the MJO (Madden-Julian Oscillation) was prevailing at that time over the central part of the Indian Ocean. One of them, evolving in the southwestern close vicinity of the Chagos Archipelago and namely of Diego Garcia, gave birth a few days later to to-be cyclone DUMILE; the other one, situated to the far northeastern part of the RMSC La Reunion's area of responsibility, had a much more trivial destiny, resulting, after an endless incubation of more than a fortnight (!), in the formation of the modest and short-lived moderate tropical storm EMANG.*

*In spite of the omens of the numerical models, which yet predicted a real future for that zone of disturbed weather, the latter actually remained at the stage of a mere attempt during that stunning lapse of time, the most amazing being the fact that it eventually managed to survive during such a long period. Totally hampered by a doggedly hostile easterly vertical windshear, the disturbance in embryo stagnated at a weak stage until the first days of January, then in a virtually*

*moribund state during the following days, when the centre of the low-level circulation became undetectable so to speak, hidden within a diffuse ITCZ. But, whereas it seemed to have dissipated for good, it conjured up during the night of 8 to 9 January, around 11°South/84°East, via a weak clockwise circulation identified on the wind field derived from the Oceansat scatterometer data, and even better highlighted during the next hours on the satellite imagery, owing to the development of a powerful ball of deep convection in the western part of that low-pressure area. A convective ball which, however, misfired and collapsed as rapidly as it had popped up, even before midday on 9 January... Which proved that this vague attempt of organization was nothing but a false start and that there was still a long way to go before a low-pressure system worthy of the name could possibly emerge. Indeed, the zone of disturbed weather recovered a very primitive state of organization, with a convective activity that was again fluctuating and chaotic, even though a main nucleus continued to be linked to the low, which was still traced, as best as possible, thanks to the essential contribution of the scatterometer winds from the successive Ascat and Oceansat swaths.*

*Only towards the end of the night of 10 to 11 January did the situation become a little clearer at last, with the first real beginning of (re)structuring of the system since almost a week before : a convective band converged towards a newly formed small vortex of low*



**Pré-genèse d'EMANG.** Après plus de 15 jours de préliminaires stériles, un frêle embryon de perturbation vient laborieusement de se (re)constituer au cœur de l'océan Indien. Son avenir demeure toutefois très incertain : outre la contrainte cisailée qui continue de peser sur ce système (bien que temporairement plus modérée), il pâtit d'une convergence de basses couches qui pêche sérieusement, du fait d'une alimentation de mousson déficiente, comme le montre mieux que n'importe quel discours l'image large ci-contre.

La bande nuageuse convective que l'on y voit du côté équatorial, et qui s'étire de Diego Garcia jusqu'à l'Indonésie, matérialise la poussée de vents d'ouest proche-équatoriaux associée à la pulsation active de la MJO alors en pleine vigueur sur le Sud-Est de l'océan Indien : on constate clairement qu'elle a du mal à converger vers la perturbation naissante, étant logiquement préférentiellement et massivement aspirée vers la large et puissante circulation dépressionnaire du cyclone tropical intense NARELLE, alors proche de son maximum d'intensité, qui sévit au nord-ouest de l'Australie. Face à un tel rival, qui accapare quasiment toute l'alimentation de mousson, le combat pour essayer de s'en approprier ou d'en détourner ne serait-ce qu'une petite partie, apparaît quelque peu déséquilibré et s'apparente à une lutte contre Goliath. Sauf que dans la nature, le plus faible (David) l'emporte rarement...

Faible ne signifie pas pour autant inesthétique, comme le met bien en valeur l'image Metop ci-contre, où le futur EMANG n'a pas à rougir de sa prestance, dans un style évidemment différent de son encombrant "voisin" et concurrent.

**EMANG's pre-genesis.** After more than a fortnight of sterile preliminaries, a fragile embryonic disturbance had just arduously (re)built in the heart of the Indian Ocean. Yet, its future remained very uncertain : in addition to the sheared constraint which continued to weigh heavily on the system (although temporarily more moderate), it suffered from a low-level convergence that really lacked efficiency due to a deficient monsoon supply, as the large image above shows better than any speech.

The convective cloud band that can be seen equatorward on that image, and that stretched from Diego Garcia to Indonesia, materialized the windburst of near-equatorial westerlies associated with the active pulse of the MJO then in full swing over the South-East Indian Ocean : one can clearly note that it had difficulty converging towards the nascent disturbance, as it was logically preferentially and massively sucked towards the wide and powerful clockwise circulation of intense tropical cyclone NARELLE, which was then on the verge of reaching its maximum of intensity while raging to the northwest of Australia. Faced with such a rival which attracted and monopolized nearly all the monsoon flow, the battle to try to capture or divert if only a small part, seemed to be somewhat unbalanced and could be compared to a fight against Goliath. Except that in nature, the weaker (David) is rarely the winner...

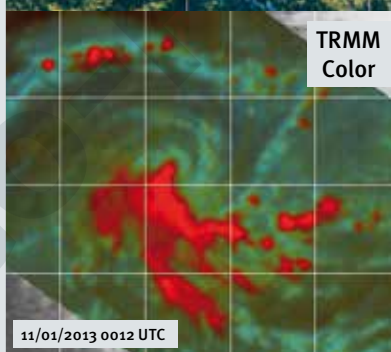
Weak does not necessarily mean unsightly however, as highlighted by the Metop image opposite, which shows that to-be EMANG did not have to be ashamed of its presentability, in a style of course different from that of its oversized "neighbour" and competitor.

*and middle clouds, which encircled a centre of low-level circulation thereby well defined at last (see imagery above). However, at that stage, the deepening remained marginal, if not infinitesimal, as attested by the relatively high pressure value (and virtually unchanged since the day before) indicated by the moored buoy of the RAMA network (buoy 53006), which was situated not far to the north of the low centre, just outside of the outer edge of the aforementioned small cloud vortex. Besides, the winds did not exceed 15 knots in the northern semi-circle of that fragile clockwise circulation, as the monsoon flow remained very indirect and found it quite difficult to converge*

*towards the incipient disturbance. In fact the near-equatorial westerly flow, rather vigorous (as it should be with the MJO pulse then in its full active phase over the South-East Indian Ocean), remained very zonally oriented and was sucked in towards the eastern part of the ocean basin to supply and foster tropical cyclone NARELLE, which was then evolving to the northwest of Australia (see large image and comments above). The presence of the moored buoy proved to be extremely invaluable to follow the evolution of the disturbance, whose erratic track maintained it in the vicinity of the buoy for more than 48h. Whereas it had been moving southwestward*

cette journée du 13 janvier de l'affaiblissement du météore, retourné au statut de simple dépression tropicale. Il faut dire qu'elle est restée aux premières loges pour suivre les évolutions du système, du fait du stationnement sur place de ce dernier. Le minimum dépressionnaire (estimé de manière fiable à 996 hPa) effectuée, en effet, une mini-boucle à proximité immédiate de la bouée, annonciatrice d'un nouveau changement de trajectoire. Cette absence de déplacement d'EMANG, ne saurait à elle seule justifier le manque de peps de la perturbation; c'est la combinaison d'un ensemble de facteurs qui, pris individuellement, n'apparaissent pas rédhibitoires, mais qui, conjugués,

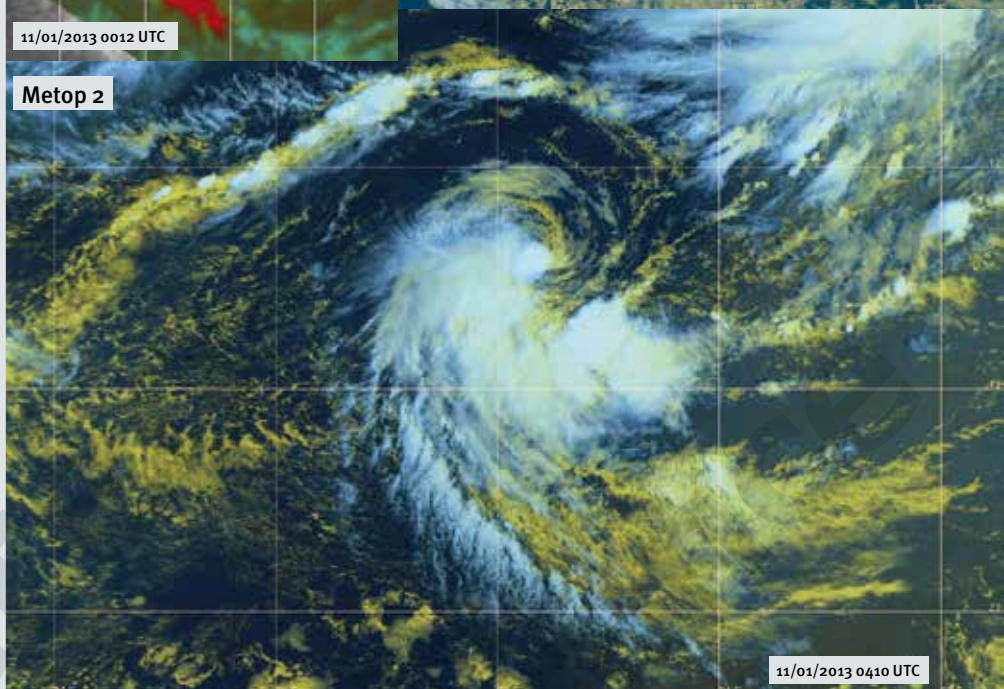
Météosat 7



TRMM Color

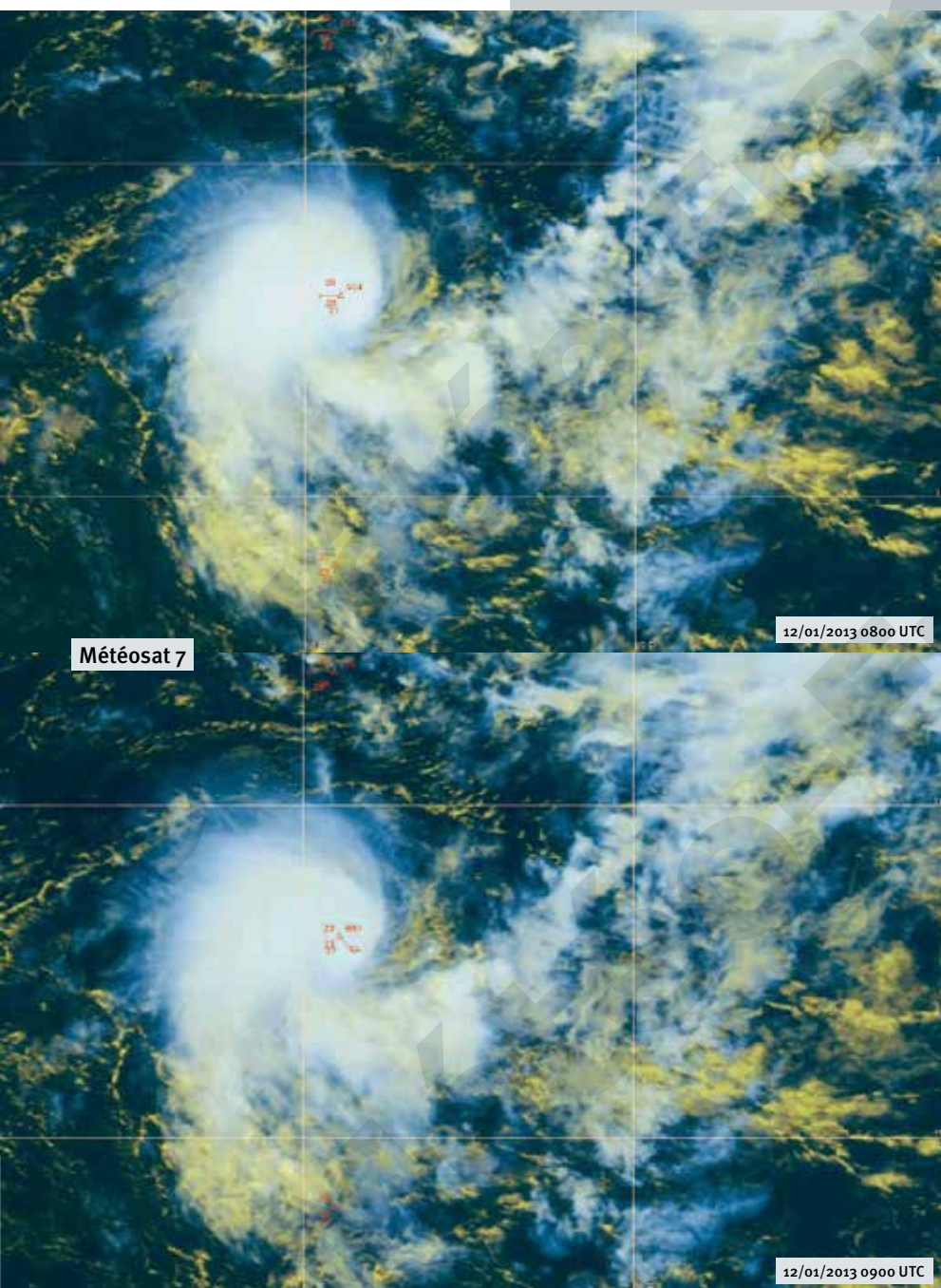
11/01/2013 0800 UTC

Metop 2



11/01/2013 0410 UTC





Météosat 7

12/01/2013 0800 UTC

12/01/2013 0900 UTC

s'avèrent de trop pour ce système, dont la petite taille le rend plus vulnérable au contexte environnemental (la contrainte cisaillée modérée d'est persistante demeurant certainement l'élément le plus pénalisant).

Au matin du 14, la convection s'est en grande partie délitée, dévoilant désormais entièrement le vortex nuageux de basse troposphère, encore bien affirmé, même si les vents ont continué de lentement ralentir, si l'on se fie aux données Ascat issues des deux fauchées successives ayant intercepté le cœur de la dépression. Du grand frais résiduel est toutefois encore présent au sud du minimum dépressionnaire, mais par effet de gradient

*since the day before, the disturbance had actually changed its trajectory, as it was shoved back towards the northeast (then the north-northwest on 12 January), on a track that was still as hesitant and more and more tortuous. The surge of the subtropical high at the origin of that slow northward shift came together with a strengthening of the trade winds, which contributed to improving the low-level convergence. Whether a direct consequence or not, the fact remained that a brisk resumption of convection was noticed near the low centre at the beginning of the day of 12 January, with cloud curvatures that made the system look like a small tropical depression.*

#### EMANG passe sur une bouée ancrée du réseau RAMA.

RAMA est un réseau de bouées ancrées implantées ces dernières années pour fournir des observations météorologiques et océanographiques dans la zone proche-équatoriale de l'océan Indien (venant ainsi compléter la couverture des océans tropicaux assurée par les réseaux TAO/TRITON et PIRATA – pour les océans Pacifique et Atlantique respectivement). Bien qu'elles aient à la base une vocation orientée plus pour la recherche et pour le suivi et la prévision à grande échelle du système climatique de moussons Indo-asiatique, elles s'avèrent également très utiles pour la veille opérationnelle au quotidien, y compris des phénomènes à enjeu que constituent les perturbations tropicales.

Présentant l'avantage de fournir, outre les données de pression, des mesures de vent, les bouées du réseau RAMA peuvent même occasionnellement s'avérer décisives quand le hasard fait qu'un système dépressionnaire vienne à passer à proximité. Cela a été le cas pour la tempête tropicale EMANG, dont le centre est passé quasiment directement sur la bouée n°53006 en journée du 12 janvier, au moment où le système était quasiment au point culminant de sa laborieuse évolution. Les observations de la bouée (ici à 08 et 09 utc) ont été déterminantes pour valider le statut minimal de tempête tropicale dont a été créditée la perturbation.

*EMANG while transiting over a moored buoy of the RAMA network. RAMA (an acronym for Research Moored Array for African-Asian-Australian Monsoon Analysis and Prediction) is a network of moored buoys set these last few years to provide meteorological and oceanographic observations in the near-equatorial zone of the Indian Ocean (thus completing the cover of tropical oceans ensured by the TAO/TRITON and PIRATA networks – for the Pacific and Atlantic Oceans respectively). Although they were basically intended to be used more for research and for the monitoring and forecasting, on a large scale, of the Indo-Asian monsoon climate system, they also prove to be very useful for the daily operational activities, including the watch of the high stake phenomena that tropical disturbances constitute.*

*Having the advantage of providing wind measures in addition to the pressure data, the buoys of the RAMA network may even occasionally prove to be decisive when, by chance, a tropical system is led to pass nearby one of them. That was the case for tropical storm EMANG, whose centre transited almost directly over buoy 53006 during 12 January, at the time when the system had almost reached the culmination of its laborious evolution. The observations from the buoy (here at 08 and 09 utc) were determining to validate the minimal status of tropical storm that was granted to the disturbance.*

#### EVOLUTION

*Unlike what happened a few days before, that revival of convective activity did not turn out to be a mere temporary outburst, as it lasted and was confirmed during the day this time, in spite of the diurnal cycle and the persistence of an easterly sheared constraint which was still fairly present. The impact on the low-pressure system was instantaneous and, a rare event in the basin, it could be measured thanks to moored buoy 53006, over which the low was kind enough to transit almost directly at the beginning of the afternoon. The pressure value then indicated by the buoy was 992.4 hPa (not corrected from the barometric tide), with a weak wind.*



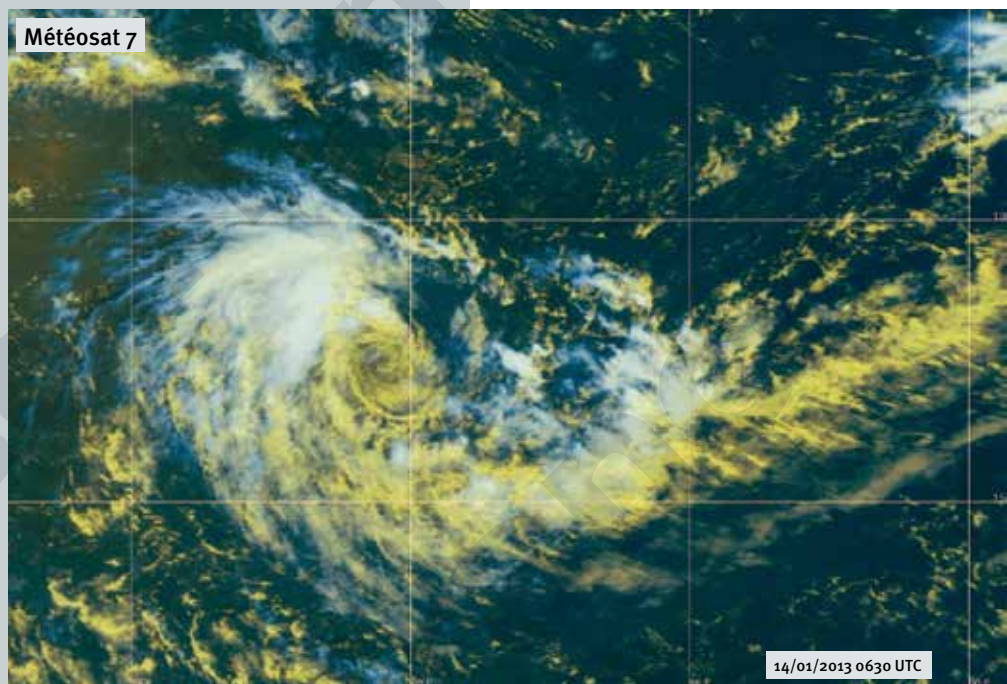
One hour later, the pressure rose considerably (with 998.0 hPa), whereas the wind was measured at 33 knots, which led one to assume that gale force wind was probably present in the vicinity of the radius of maximum winds. The satellite cloud signature had never been so flattering, whether on the classic or microwave imagery (see images page 47), and did not run counter to the system being upgraded to the minimal stage of moderate tropical storm (nonetheless, EMANG was named by the Mauritius Meteorological Services only in the early morning on 13 January).

No one then could imagine that the system had already reached the culmination of its potential and would not go further in terms of intensity. Yet, the numerical models forecast that the intensification would continue steadily, and for most of them to the stage of mature tropical cyclone at medium range. These were a long way short of the target... The disturbance was not only unable to really kick off at any time, but its cloud structure deteriorated as early as the end of the day of 12 January, with a decaying convection. And it was not the curved band that built up towards the end of the following night which could give an illusion for long. One soon ended up with a sickly system (which no longer justified the status of tropical storm) within which the convection found it difficult to survive, thus portending a low-level vortex and an associated centre of the clockwise circulation, partially exposed.

The successive observations of moored buoy 53006, testified during the day of 13 January the weakening of the meteor, downgraded to the stage of mere tropical depression. It must be said that it was still ideally situated to follow the evolution of the system, as the latter had come to a standstill. The low (reliably estimated at 996 hPa), actually described a very small loop in close proximity of the buoy, the harbinger of a new change in trajectory.

The fact that EMANG had remained stationary could not by itself justify the lack of punch of the disturbance; it was the combination of several factors which, considered individually, did not seem to be an insuperable hindrance, but which, once combined, proved to be too much for the system, whose small size made it more vulnerable to the environmental context (the persistent easterly moderate windshear certainly remaining the most penalizing element).

In the morning of 14 January, the convection had mostly disintegrated,



Redevenue simple dépression tropicale, l'ex-EMANG est (déjà) en voie d'affaiblissement. La convection s'est bonne part volatilisée, dévoilant un vortex nuageux de basse troposphère encore bien affirmé.

Downgraded as a simple tropical depression, ex-EMANG is (already) in the process of weakening. A large portion of the convection had vanished, unveiling a still well defined cloud vortex of lower troposphere.

totally unveiling henceforth the lower troposphere cloud vortex, still tightly wound, even though the winds had continued to slow down, if one trusted the Ascat data from the two successive swaths that had intercepted the core of the depression. Nevertheless, residual near gale force winds were still present to the south of the low, but by gradient effect essentially, a configuration which persisted during the next two days, in spite of a slow filling of the depression. Following the small loop on 13 January, ex-EMANG had initiated a westward, then rapidly a south-westward motion. From then on the remnant low cruised towards the west-southwest, still sluggishly jogging along the northern boundary of the subtropical high. It would quicken its pace somewhat from 17 January onward, as it skirted latitude 15° South on a more westward track, while dissipating very progressively. Some sporadic outbursts of convection classically accompanied the end of its life-cycle within the tropical domain.

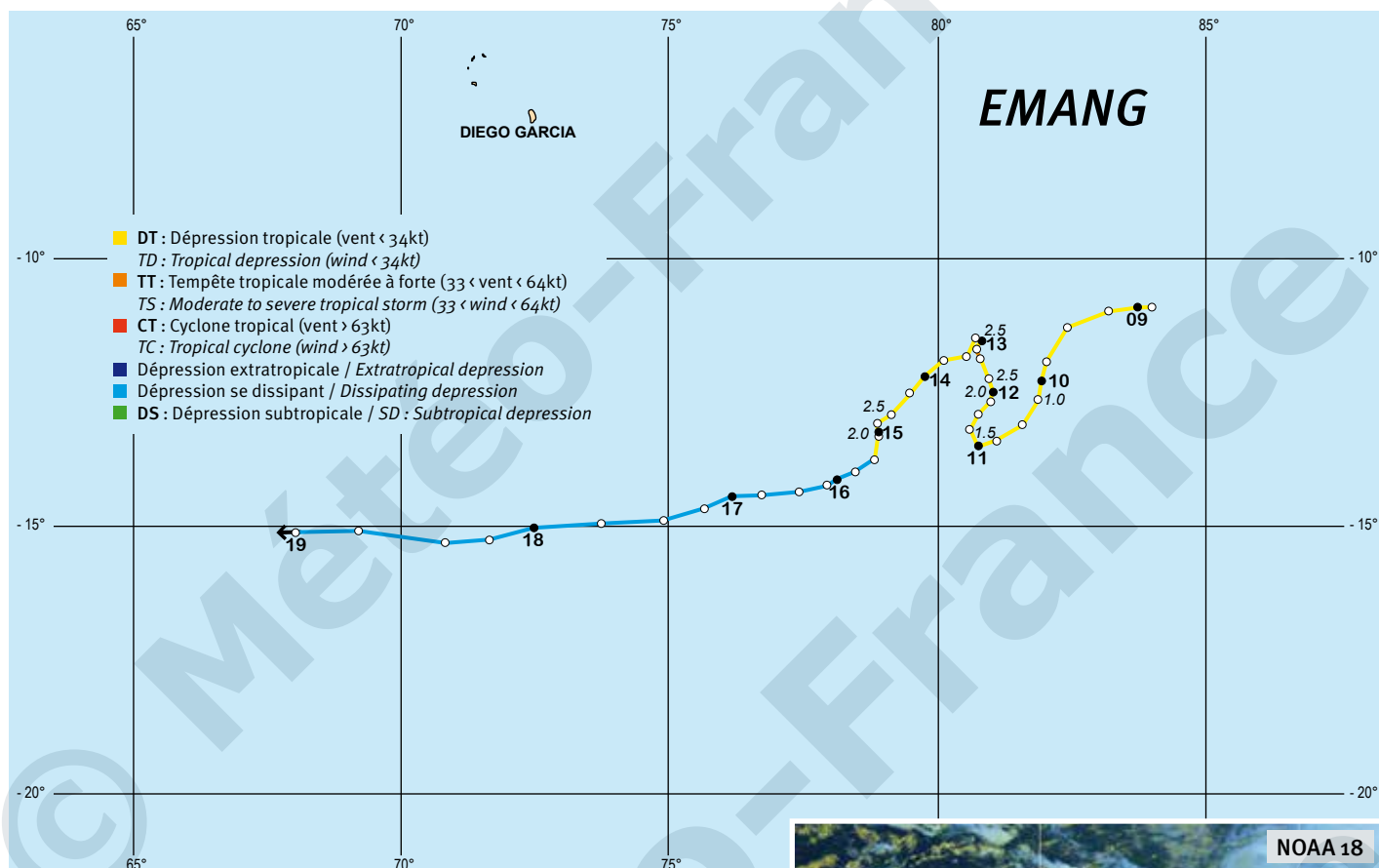
A fleeting and marginal tropical storm, EMANG will not remain memorable. What will be remembered is the difficulty encountered by the numerical models to apprehend that system. Their intensity forecasts were most of the time at odds with the reality of the phenomenon being persistently unable to intensify.

essentiellement, configuration qui perdue les deux jours suivants, malgré un comblement lent de la dépression.

Suite à la mini-boucle du 13 janvier, l'ex-EMANG avait amorcé un déplacement vers l'ouest, puis rapidement le sud-ouest. La dépression résiduelle vogue maintenant en direction de l'ouest-sud-ouest, se déplaçant toujours assez mollement le long de la façade nord des hautes pressions subtropicales. Elle retrouvera un peu plus de vitesse à partir du 17, longeant alors le 15<sup>ème</sup> parallèle Sud sur une trajectoire plus ouest, tout en allant en se dissipant très progressivement, des bouffées sporadiques de convection accompagnant classiquement cette fin de vie au cœur du domaine tropical.

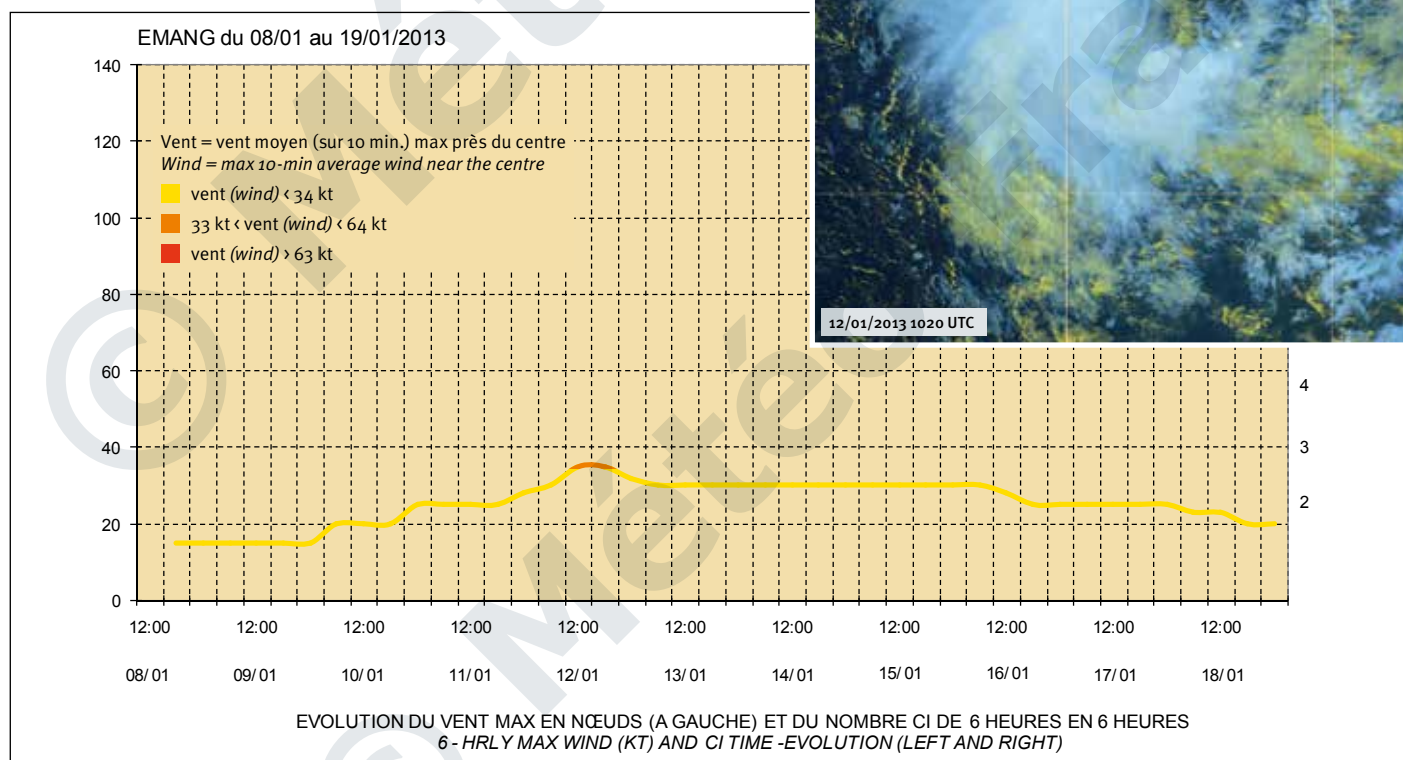
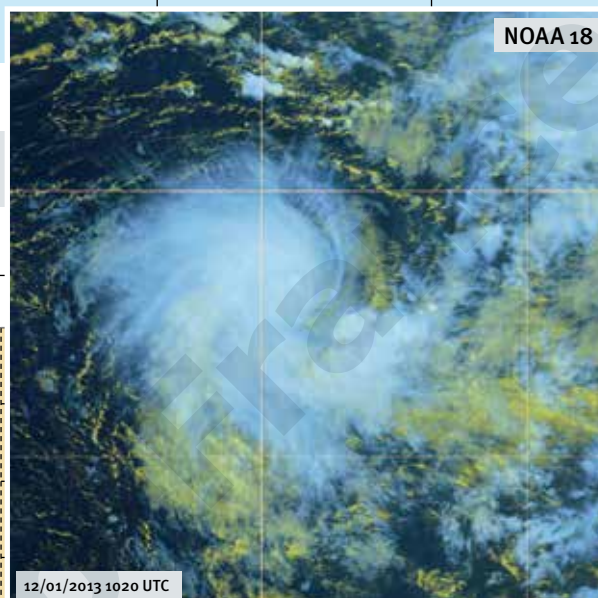
Tempête tropicale furtive et marginale, EMANG ne restera pas dans les mémoires. On retiendra cependant la difficulté des modèles numériques à appréhender ce système, avec des prévisions d'intensité généralement en total décalage avec la réalité d'une incapacité durable du phénomène à pouvoir s'intensifier.





Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

La tempête tropicale modérée EMANG à son "apogée".  
 Moderate tropical storm EMANG at its "climax".



# Felleng

## Cyclone Tropical Intense

du 24 janvier au 5 février 2013

*Intense Tropical Cyclone "Felleng" (17 January-5 February 2013)*



### FORMATION

**A**près un printemps austral agité, ayant lancé la saison cyclonique 2012-2013 sur des bases élevées, et après un début janvier qui a vu se former DUMILE, le premier phénomène à menacer une terre habitée (La Réunion en l'occurrence), et le troisième cyclone tropical de la saison déjà (une situation qui ne s'était pas produite depuis un bail, puisqu'il fallait remonter à 1996-1997 pour trouver la dernière saison ayant vu le troisième cyclone de la saison se développer à une date encore plus précoce que DUMILE), la suite va se révéler presque mièvre par comparaison.

Après l'intermède plutôt falot de l'épisode EMANG, l'on envisage même un temps que le mois de janvier puisse aller jusqu'à son terme sans qu'aucune autre cyclogenèse ne se produise. Il n'en sera rien. Car la pause consécutive à la dissipation d'EMANG ne va en fait durer qu'une grosse semaine, cette accalmie sur l'océan Indien permettant de mieux mettre en lumière une activité perturbée sortant de l'ordinaire sur l'Afrique australe (voir encart spécial pages 64 à 65).

Mais alors que la phase d'inactivité de la MJO qui a concerné le Sud-Ouest de l'océan Indien depuis le début de l'année 2013, vient à peine de quitter la zone pour se propager à la partie est du bassin océanique, et que la phase humide qui va lui succéder ne s'est pas encore réellement déclarée (sauf à considérer que l'activité perturbée sur l'Afrique australe en était le signe annonciateur), un nouveau système dépressionnaire va devancer les prospectives.

Tout démarre d'un petit minimum dépressionnaire isolé au sein de la Zone de Convergence Intertropicale le 24 janvier et clairement identifiable sur l'imagerie

satellitaire par le fait que les nuages bas qui matérialisent sa présence via des lignes de courbures explicites, sont totalement exposés au sud-ouest de l'activité convective, quant à elle exclusivement cantonnée au nord-est du minimum, au sein de l'alimentation de mousson. Les observations de pression de la bouée ancrée 14043 (du réseau RAMA) située non loin au nord du minimum dépressionnaire (localisé pour sa part vers 13.8°Sud et 67°Est), permettent alors d'estimer de manière fiable la valeur du minimum de pression à 1006 hPa.

Le petit vortex initial disparaît ensuite à la vue sur l'imagerie et le minimum dépressionnaire devient difficilement localisable le 25. Au vu des données de pression fournies par la bouée ancrée, il apparaît cependant établi qu'aucun creusement n'est intervenu depuis la veille. Pour autant, les courbures nuageuses apparaissent plus affirmées au sein de la convection. Mais l'élément le plus marquant sur l'imagerie satellitaire est cependant l'émergence en cours de journée d'un puissant rouleau de cirrus, qui s'étire de manière zonale sur près de 1500 km au sud de l'activité convective (voir image page 54). Cet arc de cirrus matérialise visuellement l'existence d'une contrainte cisailée de secteur sud tentant d'empiéter sur la zone perturbée et interagissant avec elle. Ce cisaillement vertical de vent est évidemment un facteur majeur à considérer quant au potentiel de cyclogenèse de cette perturbation embryonnaire, et ce d'autant plus qu'il ne s'agit pas d'un épiphénomène transitoire, mais d'un élément amené à perdurer défavorablement au cours des jours suivants.

Pourtant, malgré la présence problématique de cette contrainte cisailée assez forte

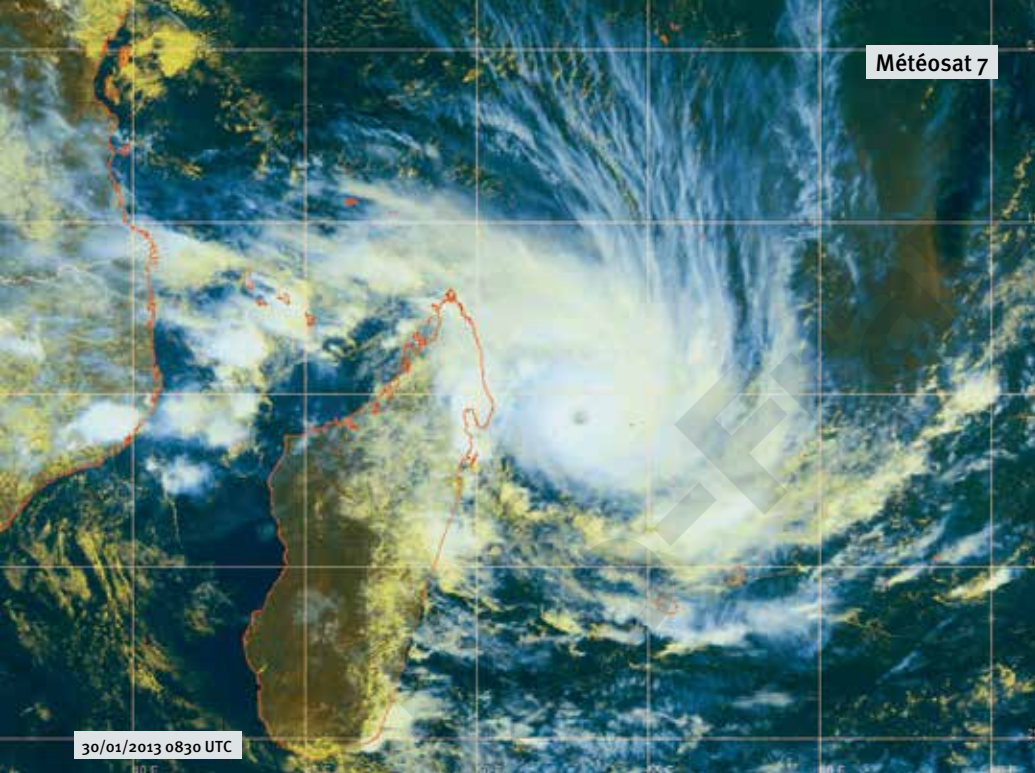
et donc potentiellement susceptible de tuer dans l'œuf un éventuel processus de cyclogenèse, il va s'avérer qu'elle ne va faire que retarder la cyclogenèse et non l'empêcher (comme l'envisageaient d'ailleurs les modèles numériques).

Dès la nuit du 25 au 26 janvier, un premier signal clair est envoyé, avec une organisation très nette du système nuageux, voyant un amas de convection, de petite taille certes, mais compact, se constituer à proximité du centre de la circulation dépressionnaire. Cette poussée de convection, qui se prolonge jusqu'en début de journée suivante, lance le processus de creusement. Toutes les données d'observations directes ou indirectes acquises en fin de matinée du 26 le confirment : les observations de surface de la bouée ancrée et les données de vents issues des radars diffusiomètres Ascat et Oceansat, valident, en effet, la présence de vents de la force du grand frais dans les secteurs est à nord-est de la circulation dépressionnaire (et uniquement là), avec un minimum de pression abaissé à 999 hPa.

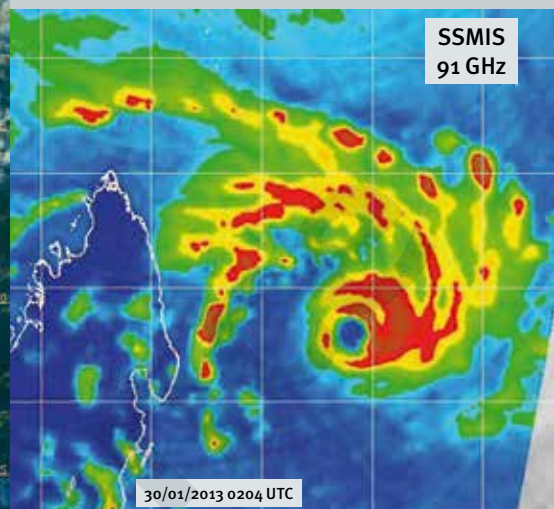
Subissant l'influence du cycle diurne, la convection dépérit quelque peu ensuite en journée, laissant le centre dépressionnaire temporairement exposé en marge sud dans l'après-midi. Cette configuration nuageuse modérément cisailée se maintient au cours des 24 heures suivantes, traduisant un certain statu quo. Tout relatif cependant, car même un observateur non averti constaterait, en comparant l'imagerie satellitaire à 24h d'intervalle, qu'il y a eu un gain manifeste de structure, et ce à tous les niveaux : que ce soit pour ce qui concerne le vortex de nuages bas matérialisant le centre de la circulation dépressionnaire, qui apparaît beaucoup mieux défini que la veille, indiquant une vorticité accrue, ou pour l'amas de convection qui le "chapeaute", d'un aspect à la fois plus imposant et plus consistant, avec la présence notable d'un noyau de convection intense à proximité du centre dépressionnaire (voir image Terra page 55). Parallèlement, les données du CIMSS indiquent une baisse lente mais persistante du cisaillement vertical de vent, désormais inférieur à 20 nœuds.

Cette tendance se poursuivant, elle va finir par trouver sa concrétisation au niveau de la structure nuageuse du météore, avec cette fois de profonds changements. En tout début de journée du 28 janvier, la configuration cisailée jusque là tenacement affichée par l'imagerie micro-onde, n'est plus de mise, avec un début de mise en phase de la convection avec le





30/01/2013 0830 UTC

SSMIS  
91 GHz

30/01/2013 0204 UTC

Le cyclone tropical FELLENG à son apogée. Classé au stade minimal de cyclone tropical intense, le météore est passé un peu plus tôt au plus près de l'îlot de Tromelin et s'apprête à longer la côte est de Madagascar, tandis que les îles sœurs de Maurice et de La Réunion sont entrées dans la zone d'influence du système nuageux associé au cyclone et vont connaître les premières pluies induites par les bandes périphériques orbitant dans le quadrant sud-est de la circulation dépressionnaire.

*Tropical cyclone FELLENG at its climax. Ranked at the minimal stage of intense tropical cyclone, the meteor had transited a little earlier at its nearest point to Tromelin Islet and was about to skirt the eastern coast of Madagascar, while the cloud extension associated with the cyclone had started to influence the sister islands of Mauritius and La Réunion which will soon undergo the first rains generated by the peripheral bands orbiting in the southeastern quadrant of the clockwise circulation.*

centre de la dépression. Cette évolution amène à classer le système en tempête tropicale modérée. FELLENG est nommé dans la foulée.

## EVOLUTION

Anticipé par l'imagerie micro-onde, le début d'intensification se répercute rapidement sur l'imagerie classique : l'épanchement des cirrus gagne du terrain au fil de cette journée du 28 du côté sud à sud-ouest de la perturbation, traduisant un flux sortant d'altitude de moins en moins contrarié dans ces secteurs (alors qu'il demeure extrêmement favorisé dans le demi-cercle nord, du fait de la diffluence marquée du flux régnant du côté équatorial), tandis que parallèlement l'activité convective peut se développer plus librement autour du minimum dépressionnaire, avec une courbure de plus en plus généralisée et accentuée des éléments nuageux. En soirée, l'évolution s'accélère : une configuration de type œil se met prestement en place sur l'imagerie micro-onde, conduisant à un classement en forte tempête tropicale. Un point chaud ne tarde pas à apparaître sur l'imagerie infrarouge la nuit suivante, au moment où le centre du météore, qui s'est déplacé en direction générale de l'ouest-sud-ouest depuis son origine, transite à quelque 335 km au sud des îlots d'Agalega. Se retrouvant sous les bandes externes gravitant autour du cœur du système nuageux, la dépendance mauricienne est copieusement arrosée

## FORMATION

*After a hectic austral spring, that had launched the 2012-2013 cyclone season on a level of activity much above usual standards, and after the formation, in early January, of DUMILE, the first phenomenon to threaten an inhabited land (in this case La Réunion Island), and the third tropical cyclone of the season already (a situation which had not occurred for quite a long time, as the last season during which the third cyclone of the season developed at an even earlier date than DUMILE dated back to 1996-1997), what was to happen next proved to be almost insipid by comparison.*

*After the rather dull interlude of the EMANG episode, it was even contemplated for a while that the month of January might come to an end without any other cyclogenesis occurring. That wouldn't be the case. Because the quietness that followed EMANG's dissipation would in fact last only a bit more than a week, whereas that lull over the Indian Ocean made it possible to better highlight a disturbed activity out of the ordinary taking place over southern Africa (see special insert pages 64-65).*

*But while the inactive phase of the MJO which had concerned the South-West Indian Ocean since the beginning of 2013, had just left the area, from then on propagating over the eastern part of the oceanic basin, and while the onset of the moist phase that would ensue had*

*not yet really declared (unless one could consider that the disturbed activity over southern Africa was the harbinger of it), a new storm would develop and forestall expectations.*

*It all started from a small low embedded within the Inter-tropical Convergence Zone on 24 January and clearly spotted on the satellite imagery by the fact that the low clouds which materialized its presence via explicit lines of curvatures, were totally exposed to the southwest of the convective activity, which was exclusively confined to the northeast of the low, within the monsoonal feeder flow. The pressure observations from moored buoy 14043 (of the RAMA network) situated not far to the north of the low (as for it localized around 13.8°South and 67°East) made it possible to estimate reliably the minimum of pressure at 1006 hPa.*

*Then the initial small vortex was hidden on the imagery and the related low thence became difficult to locate on 25 January. In view of the pressure data provided by the moored buoy, it could be asserted that no deepening had yet taken place since the day before. Even so, the cloud curvatures looked more prominent within the convection. But the most striking element on the satellite imagery was the emergence, during the day, of a powerful roll of cirrus, which stretched zonally over almost 1500 km to the south of the convective activity (see image next page). That arc of cirrus visually materialized the existence of a southerly sheared constraint, trying to*

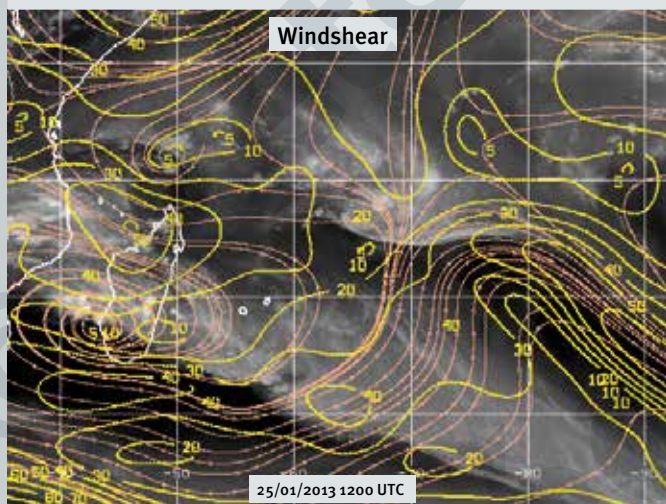


**Pre-genesis of to-be FELLENG.** The zone of disturbed weather present to the southwest of the Chagos Archipelago still looked rather unorganized at this stage. Materializing the existence of a southerly sheared constraint (cf. the CIMSS map of the vertical windshear), note the presence of the impressive cirrus bow visible to the south of the main cloud and convective activity, at the convergence between the evacuation of the mass in upper troposphere stemming from the deepest convection and the southerly environmental upper flow (extremely diffluent, hence the very zonal spreading of the cirrus roll).

The Seychelles Archipelago can be made out on the top left edge of the image. The relative lack of clouds in its surrounding environment is deceptive, as there had been some heavy rains during the previous hours at Mahé (the main island), with 93 mm recorded in 12h at the airport (at 06 UTC). Following the substantial earlier rainfall (81 mm already recorded the day before) the ground will become saturated with water thereby preparing the ground for serious annoyances to come.

Whereas the initial rains were not related to the cloud masses of the zone of disturbed weather which would give birth to FELLENG a few days later, with the cloud system related to the latter thereupon shifting toward the west, the Seychelles would find themselves under the influence of the peripheral cloud bands related to the meteor (see image opposite page) and the situation would worsen, as the outer bands generated more bad weather to come (with 128 mm of additional rainfall recorded in 48h on 27 January at 06 UTC, meaning a cumulated amount of 302 mm in 4 days) which caused serious floods and landslides on 27 January, compelling the Seychelles government to declare the state of emergency and to call for international help.

25/01/2013 0919 UTC



25/01/2013 1200 UTC

**Pré-génèse du futur FELLENG.** La zone perturbée présente au sud-ouest des Chagos apparaît à ce stade encore assez inorganisée. Matérialisant l'existence de la contrainte cisailée de sud alors existante (cf. la carte de cisaillement vertical de vent du CIMSS), noter la présence de l'imposant arc de cirrus visible au sud de l'activité nuageuse et convective principale, à la convergence entre l'évacuation de la masse en haute troposphère issue des tours convectives et le flux de sud d'altitude environnemental (extrêmement diffluent, d'où l'étalement très zonal de ce rouleau de cirrus).

En bordure supérieure gauche de l'image, on peut deviner l'archipel des Seychelles. L'environnement relativement peu nuageux qui l'entoure est trompeur, car de fortes pluies viennent de sévir au cours des heures précédentes à Mahé (l'île principale), avec 93 mm tombés en l'espace de 12h à l'aéroport (à 06 UTC). Faisant suite à des précipitations antérieures déjà conséquentes (81 mm recueillis la veille déjà), ces pluies vont saturer les sols et préparer le terrain pour de sérieux désagréments à venir.

Alors que les pluies initiales n'étaient pas liées aux masses nuageuses de la zone perturbée qui donnera naissance quelques jours plus tard à FELLENG, avec le déplacement vers l'ouest du système nuageux, les Seychelles vont se retrouver dans la zone d'influence des bandes nuageuses périphériques liées au météore (voir image page ci-contre) et la situation ne va pas évoluer favorablement, ces bandes externes alimentant de nouvelles intempéries (128 mm en 48h le 27 janvier à 06 UTC, pour un cumul de 302 mm en 4 jours), qui vont provoquer de graves inondations et glissements de terrain le 27 janvier, obligeant le gouvernement seychellois à décréter l'état d'urgence et à faire appel à l'aide internationale.

encroach upon the zone of disturbed weather and interacting with it. That vertical windshear was obviously a major factor to take into account as to the cyclogenesis potential of the embryonic disturbance, all the more so as that it was not a transitory epiphenomenon, but an element that was likely to persist unfavourably during the following days.

Nevertheless, in spite of the problematic presence of the sheared constraint, which was fairly strong enough to potentially nip in the bud a possible cyclogenesis process, it turned out that it would only delay the cyclogenesis and not prevent it (as predicted by the numerical models). During the night of 25 to 26 January, a first clear signal was sent, with a definite improvement of the organization of the cloud system, as a ball of convection, of small size though, but compact, built near the low-level circulation centre. That outburst of convection, which extended until the beginning of the next day, kicked off the deepening process. All the direct or indirect observations data acquired at the end of the morning of 26 January confirmed it : both the surface observations from the moored buoy and the wind data from

the Ascat and Oceansat scatterometer radars actually validated the presence of near gale force winds in the eastern to northeastern sectors of the clockwise circulation (and only there), with a minimum pressure lowered to 999 hPa.

Undergoing the influence of the diurnal cycle, the convection thereafter decayed somewhat during the day, leaving the low centre temporarily exposed just outside its southern fringe in the afternoon. That moderately sheared cloud configuration persisted during the next 24 hours. A seemingly standstill situation, that was quite relative in fact. Because even an inexperienced observer would have noticed, by comparing the satellite imagery at an interval of 24h, that there had been a definite gain in terms of structure, on all aspects : whether concerning the vortex of low clouds encircling the centre of the clockwise circulation, which looked much better defined than the day before, pointing out an increased vorticity, or the ball of convection "capping" it, which looked both more sturdy and more imposing, with the notable presence of a nucleus of intense convection near the low centre (see Terra image opposite). At the same

(l'observation de 18 UTC du 29, permettra d'établir un cumul de 227 mm de précipitations au cours des 30h précédentes). Devenu cyclone tropical en tout début de journée du 29 janvier, FELLENG rôde désormais dangereusement au milieu des terres habitées et constitue une menace potentielle à prendre d'autant plus au sérieux que tous les modèles numériques s'accordent à considérer qu'il est loin d'avoir atteint son maximum d'intensité, continuant de le creuser jusqu'à son point de recourbement, prévu légèrement au sud du 20ème parallèle Sud entre Madagascar et les Mascareignes. Ce qui laisse virtuellement encore près de 72h au phénomène pour continuer de s'intensifier... avec donc en perspective le développement d'un cyclone de très forte intensité. Mais cette prédiction va être démentie par la réalité des faits, le processus d'intensification s'interrompant 24h plus tard ! Tout au long de la journée du 29 janvier, l'imagerie micro-onde laisse déjà entrevoir la faille dans la cuirasse du météore, faille dont on ne se doute pas encore qu'elle se transformera le lendemain en brèche béante ouverte à tous les vents. Elle montre, en effet, une faiblesse persistante du côté



Terra

27/01/2013 0800 UTC

27/01/2013 0600 UTC

**Genèse du futur FELLENG.** Malgré une contrainte cisaillée de sud persistante, la perturbation est parvenue à se creuser jusqu'au stade de dépression tropicale. Un noyau d'intense convection s'est développé à proximité du minimum dépressionnaire et masque la partie nord du petit vortex nuageux de basses couches qui l'entoure. Sur l'image large, noter l'activité orageuse présente au niveau des Seychelles, indirectement reliée à l'activité perturbée du futur FELLENG, via le flux de mousson aspiré vers la dépression tropicale. Pas spécialement impressionnante sur l'imagerie satellitaire, cette activité orageuse sera pourtant à l'origine de pluies et d'inondations catastrophiques ce 27 janvier sur l'île principale de Mahé (lire également la légende de l'image page précédente).

**To-be FELLENG's genesis.** In spite of a persistent southerly sheared constraint, the disturbance succeeded in deepening to the stage of tropical depression. A nucleus of intense convection developed near the low and hid the northern part of the small low-level cloud vortex which surrounded it.

On the large image, note the thunderstorm activity present in the vicinity of the Seychelles, indirectly linked to the disturbed activity of to-be FELLENG, via the monsoon flow sucked in towards the tropical depression. Although this thunderstorm activity did not look particularly impressive on the satellite imagery, it will generate catastrophic rains and floods on the main island of Mahé on 27 January (also read the caption of the imagery on previous page).

ouest à sud-ouest du mur de l'œil, avec un œil qui apparaît même temporairement ouvert en moyenne troposphère (cf. image SSMIS page suivante). Atténuée temporairement en soirée, cette faiblesse reparait ensuite dans la nuit. L'imagerie classique indiquerait quant à elle plutôt une tendance à l'affaiblissement, après un pic d'intensité Dvorak dans la journée : l'œil a pour ainsi dire disparu sur l'imagerie infrarouge, même si un point chaud revient par intermittences au centre de courbure de ce qui s'apparente plutôt à une bande incurvée. Pour ce qui est des estimations d'intensité dérivées des sondeurs AMSU-A embarqués à bord des différents satellites défilant de la NOAA, elles fluctuent beaucoup et permettent difficilement de se faire une idée précise de l'évolution en cours, même si elles sont plutôt encore à la hausse. Entre tous ces signaux contradictoires, difficile de faire le tri.

Un regain d'organisation, incontestable lui, survient cependant en début de journée du 30, moment où l'on observe la meilleure signature micro-onde, entraînant un classement de FELLENG au stade minimal de cyclone tropical intense. Comme souvent, une telle évolution annonce une amélioration à venir sur l'imagerie classique, qui voit effectivement la structure du cyclone atteindre son apogée peu après la mi-journée. Mais l'imagerie micro-onde est alors en opposition de phase, indiquant au même moment une nouvelle dégradation de

time, the CIMSS data indicated a slow but persistent decrease of the vertical windshear, henceforth below 20 knots. As that tendency went on, it eventually ended to alter the cloud structure of the meteor, with this time some drastic changes. At the very beginning of 28 January, the sheared pattern up to then doggedly depicted by the microwave imagery, was no longer relevant, with an incipient vertical alignment of the convection with the centre of the depression. Owing to that evolution the system was ranked as a moderate tropical storm. FELLENG was named right afterwards.

### EVOLUTION

Anticipated by the microwave imagery, the incipient intensification was soon reflected on the classic imagery : as the day of 28 January went on, the fanning of cirrus expanded increasingly to the south and southwest of the disturbance, witnessing an upper outflow less and less thwarted in those sectors (whereas it was still extremely favoured in the northern semi-circle, owing to the strong diffluence of the equatorward flow), while at the same time the convective activity could develop more freely around the low, with a more and more generalized and marked curvature of the cloud features. In the evening, the evolution quickened its pace : an eye pattern configuration swiftly

settled on the microwave imagery, which enabled the system to be upgraded as a severe tropical storm. It did not take long for a warm spot feature to pop up on the infrared imagery during the ensuing night, when the centre of the meteor, which had been moving in a general west-southwesterly direction since its origin, was transiting some 335 km to the south of the Agalega Islets. Finding themselves under the outer bands revolving round the core of the cloud system, the Mauritian dependencies underwent heavy rains (a rainfall amount of 227 mm during the previous 30h was recorded at 18 UTC on 29 January).

Having become a tropical cyclone at dawn on 29 January, FELLENG was henceforth roaming dangerously among inhabited lands and represented a potential threat that had to be taken all the more seriously as all the numerical models agreed to consider that it was far from having reached its maximum of intensity, keeping on deepening it until its recurvature, forecast to take place slightly to the south of latitude 20°South, between Madagascar and the Mascarene Archipelago. Which virtually still allowed the phenomenon almost 72h to go on intensifying... with therefore in prospect the development of a very intense cyclone. But that prediction was to be denied by the reality of facts, as the intensification process was halted 24h later !



29/01/2013 0202 UTC

29/01/2013 0715 UTC

Agalega

**FELLENG au nord des Mascareignes.** Classé cyclone tropical depuis quelques heures, le météore est toujours en phase d'intensification, processus pour lequel le développement de tours chaudes convectives est réputé jouer souvent un rôle important. Dans le cas présent, l'imagerie satellite a effectivement témoigné du développement au niveau du mur de l'œil d'une telle tour chaude de convection profonde (qui empiète partiellement sur l'œil sur l'image visible ci-dessus). Le météore est passé la nuit précédente au plus près des îlots d'Agalega (à plus de 330 km au sud), qui subissent encore les fortes pluies provoquées par les bandes périphériques s'étendant alors assez loin au nord du cœur du cyclone : 110 mm sont déjà tombés au cours des 18h précédentes (le 29 à 06 UTC), tandis que 117 mm s'abattront encore au cours des 12h suivantes.

**FELLENG to the north of the Mascarene Islands.** Ranked as a tropical cyclone since a few hours before, the meteor was still in its intensification phase, a process for which the development of hot towers is renowned to often play an important part. In the present case, the satellite imagery actually testified to the development in the eyewall region of such a deep hot tower (which partially encroached upon the eye on the visible image above).

The night before, the meteor had transited nearest to the Agalega Islets (more than 330 km to the south), which still underwent the heavy rains generated by the outer bands that stretched then far to the north of the cyclone core : 110 mm had already fallen during the previous 18h (on 29 January at 06 UTC), whereas 117 mm would pour down during the next 12h.

During the whole day of 29 January, the microwave imagery already portended the chink in the armour of the meteor, a chink that one had not yet suspected would turn into a wide open gap exposed to the wind. As a matter of fact, it showed a persistent weakness on the western to south-western side of the eyewall, with an eye that even appeared to be temporarily open in mid-troposphere (cf. SSMIS image above). Temporarily alleviated in the evening, that weakness came back during the night. The classic imagery would rather indicate a weakening trend, after a Dvorak intensity peak during the day : the eye had vanished so to speak on the infrared imagery, even if a hint of a warm spot intermittently reappeared at the focal point toward which was spiralling the main cloud feature that matched a curved band. As far as the intensity estimates derived from the AMSU-A sounders on board the different NOAA polar orbiting satellites were concerned, they fluctuated a lot and made it difficult to get a precise idea about the evolution in progress, even though they were still on the upward trend. It was difficult to select from all those contradictory signals. But a revival in organization, unquestionable this time, took place at the beginning of the day of 30 January, when the best microwave signature was observed, leading to the upgrading of FELLENG to the stage of intense tropical cyclone. As often the case, such evolution foreshadowed an improvement to come on the classic imagery, which indeed portrayed a cyclone reaching its

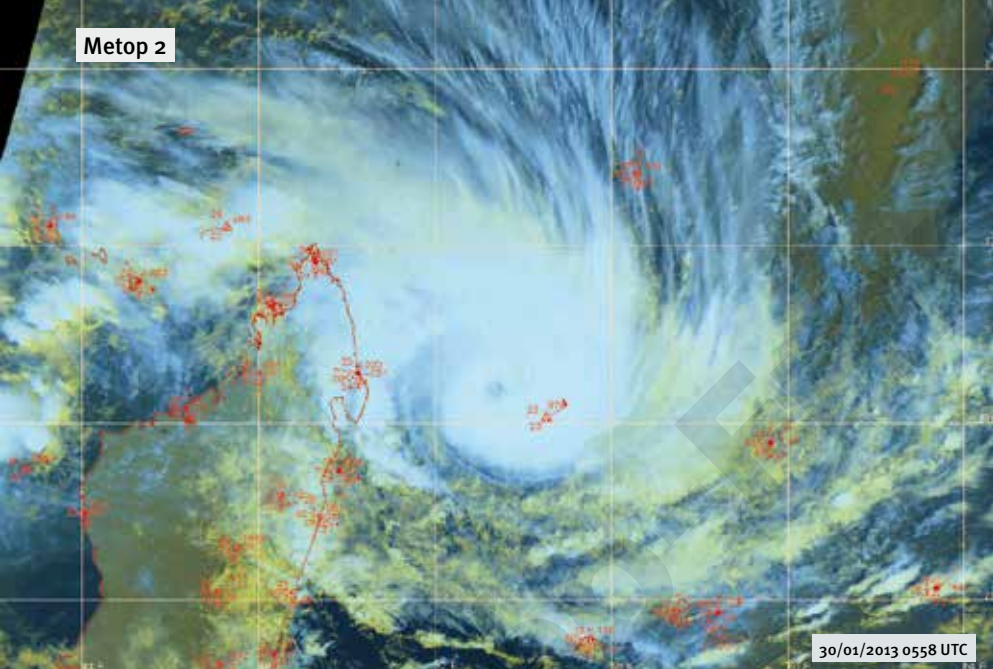
climax in terms of structure a little after midday. But the concurrent microwave imagery was then out of phase, conversely indicating at the same time a new deterioration of the quality of the eyewall on the westward side, with an eye that even appeared to be completely open on the NOAA 19 orbit of the afternoon. The signal was unambiguous : far from easing, the westerly to southwesterly ventilation increased, certainly amplified by the induced effect of the relative motion of the storm (counter-current of the direction the ventilation was coming from). And in the evening, the damage on the structure of the meteor became even more blatant : the core of the system appeared totally ripped open from the west. There was nothing left of the previous eyewall but a partial residue to the east of the low centre, while the convection had vanished altogether over the whole western half of the cloud system, on the windward side of the west-southwesterly ventilation. The classic imagery followed the process and, with a time gap of a few hours, displayed the same tendency : the eye disappeared at the very end of the day of 30 January, then the cloud structure clearly went on deteriorating throughout the ensuing night. Since the day before the rot had already set in, and what might have been a mere transitory hindrance with little implication, happened to be in the end a major and lengthy constraint, which decisively impacted FELLENG's evolution in terms of structure and intensity. But the numerical models had not foreseen that westerly to

la qualité du mur de l'œil du côté ouest, avec un œil qui apparaît même complètement ouvert sur l'orbite NOAA 19 de l'après-midi.

Le signal est sans ambiguïté : loin de s'atténuer, la ventilation d'ouest à sud-ouest s'accroît, certainement amplifiée par l'effet induit du déplacement relatif du météore (à contre-courant de la direction d'origine de cette ventilation). Et en soirée, les dégâts sur la structure du système deviennent encore plus flagrants : le cœur du météore apparaît totalement éventré par l'ouest. Du mur de l'œil antérieur, ne subsiste plus qu'un résidu partiel à l'est du centre dépressionnaire, tandis que la convection s'est entièrement volatilisée dans toute la moitié ouest du système nuageux, du côté au vent de la ventilation d'ouest-sud-ouest. L'imagerie classique suit le mouvement et, avec un décalage de quelques heures, affiche la même tendance : l'œil disparaît en toute fin de journée de ce 30 janvier, puis la structure nuageuse va en se dégradant nettement au fil de la nuit suivante.

Depuis la veille le ver était dans le fruit, et ce qui aurait pu n'être qu'une entrave transitoire, s'avère in fine constituer une sujétion majeure et durable, impactant de manière décisive l'évolution de FELLENG en terme de structure et d'intensité. Mais les modèles numériques n'avaient rien vu venir de cette ventilation d'ouest à sud-ouest. Ignorant cette immixtion imprévue, ils ont continué à s'évertuer de creuser indûment le cyclone, à la faveur d'une

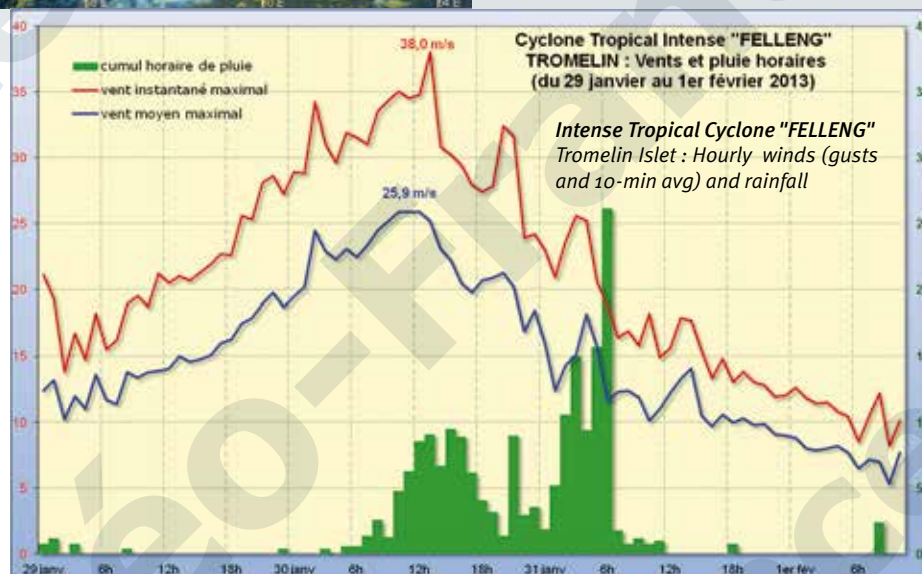




FELLENG passe au plus près de Tromelin (centre à un peu moins de 145 km au nord-ouest). Alors au maximum de son intensité, le phénomène génère des vents de force tempête sur l'îlot, avec une rafale maximale de 74 nœuds (38 m/s ou 137 km/h) mesurée par l'anémomètre de la station automatique de Météo-France basée sur place. L'essentiel des précipitations observées (qui ont totalisé 174 mm en 24h – dont 82 mm en 6h), est tombé après ce passage au plus près.

**FELLENG when passing nearest to Tromelin** (centre a little less than 145 km to the northwest). The phenomenon, then at its maximum intensity, generated storm force winds on the islet, with a peak gust of 74 knots (38 m/s or 137 km/h) measured by the anemometer of the Météo-France automatic station based there. Most of the rain observed (with a cumulated amount of 174 mm in 24h – of which 82 mm in 6h) fell after the nearest passage to the islet.

divergence en haute troposphère devenant encore plus favorable, via l'établissement d'un bon canal d'évacuation du flux sortant d'altitude du côté polaire, venant seconder le toujours puissant "tirage" équatorial (voir image page 58), mais surtout en préjugant une baisse du cisaillement vertical de vent, à mesure du rapprochement prévu du centre du cyclone de la dorsale d'altitude, baisse qui n'aura de fait pas lieu. Depuis la fin de nuit du 29 au 30, FELLENG a changé de cap. Sous l'influence grandissante d'une dorsale de moyenne troposphère présente au nord-est du météore, son déplacement s'est infléchi entre le sud-ouest et le sud-sud-ouest. C'est sur cette trajectoire bien établie pour les 24h suivantes, que le centre du cyclone est passé au plus près de l'îlot de Tromelin en matinée du 30, à un peu moins de 145 km au nord-ouest. Les vents y ont atteint la force tempête durant deux heures, confirmant l'extension assez large de la zone de vents forts dans le demi-cercle est de la circulation dépressionnaire. La dissymétrie nord-sud du début de vie, va désormais laisser place à une dissymétrie est-ouest grandissante. Pour l'heure les vents moyens approchent encore les 40 nœuds à l'aéroport de l'île Sainte-Marie, quand le centre de FELLENG passe au plus près (à un peu moins de 170 km au sud-est), à l'aube du 31 janvier. Peu après, la trajectoire du météore s'infléchit en direction du sud-sud-ouest, de sorte qu'elle ne le rapprochera plus guère de la côte est de Madagascar ; au cours des 24h suivantes, le centre de FELLENG longe la côte malgache à un peu plus de 160 km au large. Malgré cette distance relativement rapprochée, l'influence du météore devient marginale pour la Grande Ile, tant en terme de vents que de précipitations. Sous l'impact de la ventilation d'ouest, la dissymétrie est-ouest va, en effet, en s'accroissant, si bien que l'extension des masses nuageuses devient, en particulier,



southwesterly ventilation. Missing that unexpected interference, they wrongfully persisted in trying to unduly deepen the cyclone, a sustained intensification based on an upper divergence becoming even more favourable, via the establishment of a good poleward upper outflow channel seconding the still powerful equatorial "draught" (see image next page). But above all they took for granted an abatement of the vertical windshear, while the centre of the cyclone would get closer to the upper ridge axis. Actually, the abatement did not occur.

Since the end of the night of 29 to 30 January, FELLENG had changed course. Under the growing influence of a mid-troposphere ridge present to the northeast of the meteor, it bent its track in a direction between the southwest and south-southwest. It was on that steady trajectory which had settled for the next 24h, that the centre of the cyclone transited nearest to the Tromelin Islet during the morning of 30 January, a little less than 145 km to the northwest. There were storm force winds recorded there for two hours, which confirmed the rather large extent of the area of strong

winds in the eastern semi-circle of the clockwise circulation. The north-south asymmetry existing at the beginning of the life-cycle would henceforth give way to a growing east-west asymmetry.

For the time being the average winds were getting close to 40 knots at the airport of Sainte-Marie Island, when FELLENG's centre transited nearest to it (a little less than 170 km to the southeast), at dawn of 31 January. Soon afterwards, the track of the meteor shifted towards the south-southwest, so that it would no longer get much nearer the Malagasy coast ; during the next 24h, FELLENG's centre skirted Madagascar, a little more than 160 km offshore. In spite of that relatively short distance, the influence of the meteor became marginal for the Great Island, whether in terms of winds or rainfall. Under the impact of the westerly ventilation, the east-west asymmetry was indeed increasing, so that the extension of the cloud envelope became, in particular, limited on the western side of the cloud system. On the other hand it tended to widen on the eastern side and the peripheral bands, which thus spread over



31/01/2013 0152 UTC

31/01/2013 1030 UTC

**FELLENG perd son statut de cyclone tropical et est dégradé en forte tempête tropicale.** Malgré une divergence d'altitude sur-vitaminée par la présence de deux puissants canaux d'évacuation du flux sortant d'altitude (matérialisés sur l'imagerie par l'épanchement des cirrus au nord du côté équatorial et au sud-est du côté polaire), le météore s'est sensiblement affaibli depuis la veille. Plus encore que l'imagerie satellitaire classique, l'imagerie micro-onde témoigne de la déstructuration du système nuageux, qui apparaît complètement éventré dans son secteur ouest. La cause de ce sévère accès de faiblesse est explicitée par la carte de cisaillement vertical de vent du CIMSS, qui indique l'existence d'une ventilation de sud-ouest au niveau du système, issue d'une cellule de hauts géopotentiels centrée sur le Canal de Mozambique.

Outre les bandes pluvieuses externes qui intéressent La Réunion, on notera la présence de la longue bande nuageuse active reliée au cœur du météore et qui se prolonge jusqu'à la côte africaine via le nord du Canal de Mozambique. Associée à l'alimentation de mousson (et à l'advection d'air humide issu du Congo), elle affecte l'archipel des Comores et le Nord de Madagascar et y provoque de fortes pluies orageuses : à l'aéroport de Hahaya sur l'île de Ngazidja (Grande Comore), l'observation de la matinée du 31 janvier à 06 utc fait état d'une valeur de 226 mm de précipitations tombées au cours des 18h précédentes, tandis qu'à Atsohihi (nord de Madagascar) 185 mm ont été recueillis au cours des 24h précédentes.

31/01/2013 1426 UTC

31/01/2013 0900 UTC

**FELLENG when downgraded from the tropical cyclone stage to the severe tropical storm stage.** In spite of an upper divergence boosted by the two existing channels of the upper outflow (materialized on the imagery by the fanning of cirrus to the north equatorward and to the southeast poleward), the meteor had noticeably weakened since the day before. Even more than the classic satellite imagery, the microwave imagery demonstrated the destructuring of the cloud system, which appeared to be completely ripped open in its western sector. The reason for this severe bout of fainting fit is explained by the CIMSS map of vertical windshear, which indicates the existence of a southwesterly ventilation at the level of the system, coming from a high geopotential cell centered on the Mozambique Channel.

In addition to the outer rain bands which concerned La Réunion, one could notice the presence of the long active cloud band connected to the core of the meteor and which stretched to the African coast via the northern Mozambique Channel. Associated with the monsoon supply (and with the advection of Congo moist air), it affected the Comoro Archipelago and the North of Madagascar, where it generated torrential stormy rains : at Hahaya Airport on Ngazidja Island (Grande Comore), the observation of the morning of 31 January at 06 utc, reported a value of 226 mm of rain during the previous 18h, while at Atsohihi (north of Madagascar) 185 mm were recorded during the previous 24h.

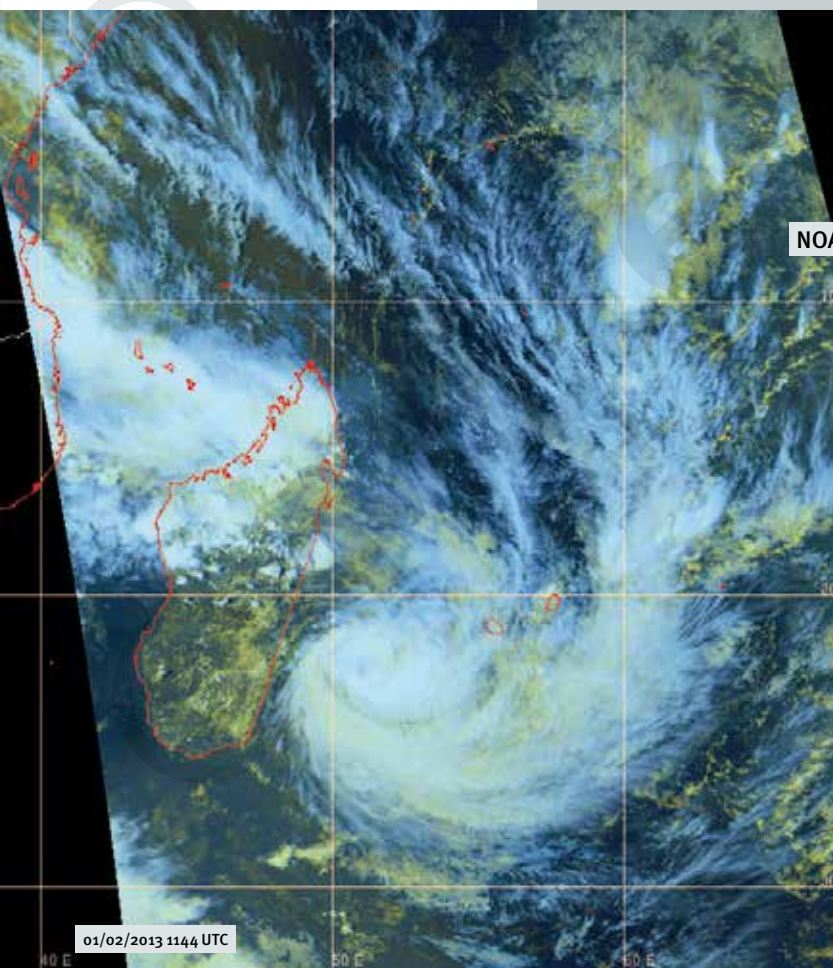


réduite du côté ouest du système nuageux. Elle tend par contre à s'élargir du côté oriental et les bandes périphériques, qui s'étendent ainsi à plusieurs centaines de km à l'est et au sud-est, ont commencé à balayer depuis la veille les îles sœurs de Maurice et de La Réunion, par vagues successives.

Sérieusement ébranlé par la ventilation persistante, FELLENG s'affaiblit, même si la structure interne, telle que suivie au mieux grâce à l'imagerie micro-onde, apparaît un peu plus stabilisée, avec en tout cas un processus d'érosion ralenti. Le météore n'en est pas moins considéré perdre son statut de cyclone tropical en milieu de journée du 31 janvier. Déclassé en forte tempête tropicale, FELLENG poursuit sa descente à vitesse modérée au large de la côte est malgache. Le flux directeur est toujours dicté par une dorsale de moyenne troposphère présente à l'est du système et se décalant au nord-est. Une fois franchi le 20<sup>ème</sup> parallèle Sud, en première partie de nuit du 31, le centre de FELLENG infléchit en conséquence, et

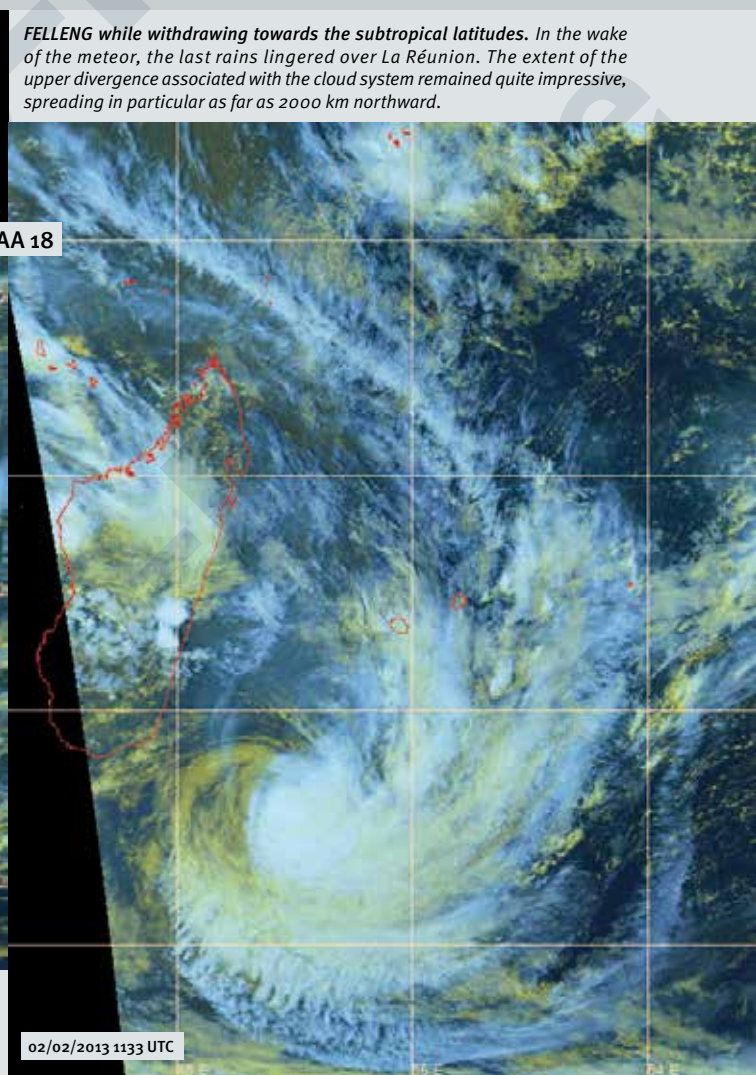
several hundreds of km to the east and the southeast, had begun to sweep the sister islands of Mauritius and La Réunion since the day before, in successive waves. Seriously buffeted by the persistent ventilation, FELLENG was weakening, even though the inner structure, as monitored at best thanks to the microwave imagery, looked a little more settled, with at any rate a slower erosion process. In spite of that the meteor was considered to have lost its status of tropical cyclone about midday on 31 January. Downgraded as a severe tropical storm, FELLENG went on heading south off the Malagasy coast at a moderate pace. The steering flow was still ruled by a mid-troposphere ridge present to the east of the system and shifting to the northeast. Once it had crossed latitude 20°South, during the first part of the night of 31 January, FELLENG's centre consequently bent its track towards the south-southeast, as expected, which resulted in the meteor beginning to edge away progressively from the Great Island. Then it transited, in the afternoon of February

the 1st, at its closest to La Réunion, rather far yet to the west-southwest of the French island (nearly 440 km offshore). In spite of that important distance, the island felt the influence of the presence of the meteor quite significantly (see pages 60 to 62). Locally strong winds, as well as heavy rains, brought very disturbed weather conditions to the island. Besides, most of the rain fell toward the end of the previous night and at the beginning of 1 February, therefore before its closest passage to La Réunion. At the moment when that passage occurred, a slight improvement of the cloud structure of the meteor could be noted, with a temporarily successful attempt to rebuild a poorly defined eye. However, that upturn was only transitory. Before the end of the following night, the cloud structure already deteriorated again, with a northwesterly sheared pattern that would be displayed for quite a bit of time on the microwave imagery, then on the classic imagery from the morning of 2 February. Yet, the motion towards the south-southeast which had gained speed



NOAA 18

FELLENG s'évacue vers les latitudes subtropicales. Dans le sillage du météore, les dernières pluies s'attardent sur La Réunion. L'aire d'extension de la divergence d'altitude associée au système nuageux demeure impressionnante, rayonnant en particulier jusqu'à plus de 2000 km du côté nord.



02/02/2013 1133 UTC



*to reach more than 20 km/h since the day before, tempered the relative windshear undergone by the meteor, which managed to resist it rather well until the morning of 3 February, so that the filling of the depression was very gradual and storm force winds persisted within the clockwise circulation until that moment. However, after the meteor had crossed latitude 30°South, the increasing sheared constraint, combined with the arrival over cooler water, rapidly overcame the residual convection. The extratropical transition began at the same time, ending at the end of the ensuing night. Ex-FELLENG was ejected at high speed towards the mid-latitudes on the next day and the residual depression eventually passed over Kerguelen Island during the first part of the night of 5 to 6 February. A cyclone of the peak of the season whose pseudo-parabolic track was rather classic, FELLENG just "titillated" the inhabited lands of the western basin, but mostly spared them, although six deaths were attributed to the meteor in Madagascar. From a purely technical point of view, FELLENG will be remembered as a good example of how challenging it remains to forecast the evolution of the intensity of tropical systems and an illustration of the fallibility of the models in this domain.*

comme attendu, sa trajectoire en direction du sud-sud-est, entraînant un début d'éloignement progressif de la Grande Ile. Il passe ensuite, dans l'après-midi du 1<sup>er</sup> février, au plus près de La Réunion, à bonne distance cependant à l'ouest-sud-ouest du département (près de 440 km au large). Malgré cette distance conséquente, l'île ressent de manière tout à fait significative l'influence de la présence du météore (voir détails ci-après). Des vents localement forts, ainsi que des précipitations importantes, y occasionnent un temps très perturbé. Le plus gros des pluies est d'ailleurs survenu en fin de nuit précédente et début de journée de ce 1<sup>er</sup> février, avant le passage au plus près de La Réunion donc. Au moment de ce dernier, on note un léger mieux au niveau de la structure nuageuse du météore, avec la tentative, temporairement réussie, de reconstitution d'un œil mal défini. Cette embellie n'est toutefois que transitoire. Dès avant la fin de nuit suivante, la structure nuageuse périclité à nouveau, avec une configuration cisaillée de nord-ouest qui s'affiche durablement sur l'imagerie micro-onde, puis sur l'imagerie classique à compter du matin du 2 février. Le déplacement en direction du sud-sud-est, qui s'est accéléré à plus de 20 km/h depuis la veille, tempère toutefois le

cisaillement relatif subi par le météore, qui parvient à y résister plutôt bien jusqu'en matinée du 3, si bien que le comblement de la dépression est très graduel et que des vents de force tempête perdurent au sein de la circulation dépressionnaire jusqu'à ce moment-là. Après le franchissement du 30<sup>ème</sup> parallèle Sud, l'accentuation de la contrainte cisaillée, conjuguée avec l'arrivée sur des eaux plus fraîches, viennent toutefois rapidement à bout de la convection résiduelle. La transition extratropicale débute au même moment et s'achève en fin de nuit suivante. L'ex-FELLENG est expulsé à vitesse accélérée vers les moyennes latitudes le lendemain et la dépression résiduelle passera sur l'île de Kerguelen en première partie de nuit du 5 au 6 février. Cyclone de pleine saison à la trajectoire pseudo-parabolique assez classique, FELLENG est venu "titiller" les terres habitées de l'ouest du bassin, mais les a toutefois pour bonne part épargnées, bien que six morts lui aient été attribuées à Madagascar. D'un point de vue purement technique, on retiendra FELLENG comme un bon exemple de la difficulté à prévoir les évolutions d'intensité des systèmes dépressionnaires tropicaux et de la faillibilité des modèles en la matière.

## FELLENG à La Réunion

Moins d'un mois après l'épisode DUMILE, début janvier, le cyclone tropical FELLENG (rétrogradé au stade de forte tempête tropicale préalablement à son passage au plus près du département) a occasionné un second épisode de temps très perturbé sur l'île de La Réunion.

Globalement moindres que lors du passage de DUMILE, essentiellement du fait de vents moins forts, l'influence et les conséquences du passage de FELLENG n'en ont pas moins été tout à fait significatives, et même remarquables si l'on considère que le centre du phénomène est passé à près de 440 km au large des côtes ouest du département. Il n'est, en effet, pas donné à tous les météores passant à une telle distance de l'île, d'exercer une telle influence. C'est uniquement l'apanage des systèmes de grande dimension. FELLENG n'était pas en soi d'une taille exceptionnelle, mais sa structure très dissymétrique lui conférait cependant une grande extension dans son demi-cercle est (celui qui a concerné La Réunion, lors de la "descente" du météore entre Madagascar et les Mascareignes), tant de la zone de vents forts que des masses nuageuses associées au météore.

Logiquement, compte tenu de l'éloignement de La Réunion du cœur de la perturbation, les vents ont soufflé moins fort que lors de DUMILE. Touchée par les vents de la force du grand frais, l'île a malgré tout été concernée par des vents localement forts dans les Hauts. Avec une trajectoire méridienne faisant transiter le système dépressionnaire à l'ouest du département, ce sont à nouveau, tout comme lors de l'épisode DUMILE, les secteurs des Plaines (prioritairement de la Plaine des Cafres) et des Hauts de l'Ouest, qui ont été exposés aux vents les plus virulents (de secteur nord). Alors que les rafales maximales observées demeuraient cependant quasiment partout inférieures aux 100 km/h sur le littoral, ce seuil était excédé – légèrement – dans les Hauts. On a mesuré 94 km/h au Port et 106 km/h à la Plaine des Cafres, tandis qu'en altitude les 130 km/h ont été dépassés (133 km/h relevés au Gîte du volcan).

La houle cyclonique propagée par FELLENG a déferlé puissamment sur la majeure partie du littoral de l'île, tout en restant loin des valeurs de référence de GAMEDE (en 2007), et se situant même un cran en deçà des valeurs de houle générées par GAEL (en 2009), pour donner l'exemple récent d'un cyclone à la trajectoire un peu similaire à celle de FELLENG.

Les hauteurs significatives maximales de vagues mesurées lors de ce dernier épisode FELLENG, ont été à peu près du même ordre de grandeur que celles enregistrées à l'occasion du passage de DUMILE (4 à 5 m en H<sub>1/3</sub>). La période était toutefois supérieure : 125 au lieu de 105 pour DUMILE (où il s'agissait plus de mer du vent que de houle à proprement parler), rendant les vagues plus énergétiques, ce qui s'est traduit par une érosion côtière finalement accrue comparativement à DUMILE.

## FELLENG at la Réunion

*Less than a month after the DUMILE episode, at the beginning of January, tropical cyclone FELLENG (downgraded to the stage of severe tropical storm prior to its closest passage to the French territory) caused a second episode of very disturbed weather in Reunion Island.*

*Globally less serious than during DUMILE's passage, essentially owing to weaker winds, the influence and the consequences of FELLENG's passage were nonetheless quite significant, and even remarkable if one considers that the centre of the phenomenon transited almost 440 km off the western coast of the French island. Indeed not every meteor can, as it tracks at such a distance from the island, exert such an influence. It is only the privilege of large systems. FELLENG was not exceptionally wide in itself, but its very asymmetrical structure gave it however a wide extension in its eastern semi-circle (the one that concerned La Réunion during the "descent" of the meteor between Madagascar and the Mascarene Archipelago), both of the area of strong winds and the cloud masses associated with the meteor.*

*Logically, considering that La Réunion remained far from the core of the disturbance, the winds were less violent than for DUMILE. Hit by the near gale force winds area, the island was concerned in spite of everything by locally strong winds in the high ground. With a meridian-like trajectory that led the storm to pass to the west of the island, the sectors of the Plains (above all of the Plaine des Cafres) and of the western heights, were again exposed to the northerly strongest winds, just like during the DUMILE episode. However, whereas the peak gusts observed remained almost everywhere below the 100 km/h mark on the coast, that threshold was, slightly, overshot in the heights. 94 km/h were recorded at le Port (Harbour City) and 106 km/h at Plaine des Cafres, whereas at high elevation the wind exceeded 130 km/h (133 km/h recorded at the Volcano shelter).*

*The cyclone swell spread by FELLENG broke powerfully on most of the island's seaboard, while it remained far from GAMEDE's benchmark values (in 2007) however, and was even a little below the height of the swell generated by GAEL (in 2009), to give the recent example of a cyclone whose track was somewhat similar to FELLENG's.*

*The maximum significant wave heights measured during the latest FELLENG's episode, were roughly similar to those recorded during DUMILE's passage (4 to 5 m in H<sub>1/3</sub>). Yet the period was higher : 125 instead of 105 for DUMILE (when it was rather a matter of wind sea than of swell strictly speaking), making the waves more energetic, which resulted in a coastal erosion that was eventually more severe compared to DUMILE's.*

*The rain episode generated by FELLENG lasted a little less than 72h, the first peripheral bands associated with the meteor accosting the island during the afternoon of 30 January (whereas the centre of the cyclone was still situated some 600 km to the northwest of La Reunion), while the last residual rains lingered over the eastern*



Radar

31/01/2013 1050 UTC

30/01/2013 1030 UTC

L'épisode pluvieux généré par FELLENG a duré un peu moins de 72h, les premières bandes périphériques associées au météore abordant l'île dans l'après-midi du 30 janvier, alors que le centre du cyclone se situait encore à quelque 600 km au nord-ouest de La Réunion, et les dernières pluies résiduelles s'attardant dans les Hauts de l'Est en journée du 2 février. Les pluies ont été très discontinues, entrecoupées d'accalmies parfois très durables, comme en matinée du 31 janvier. Contrairement à DUMILE, qui était quasiment dénué de bandes périphériques, pour lequel le forçage orographique a été le facteur déterminant de la pluviométrie, cette fois-ci l'advection des bandes pluvieuses fut l'élément principal, d'où une répartition différente des précipitations, avec une pluviométrie comparativement supérieure sur les zones au vent de la moitié nord-est de l'île et sur les zones côtières.

Alors que pour DUMILE, les 100 mm n'avaient été atteints que sur le littoral du Sud, ce seuil a cette fois été excédé sur la majeure partie de l'île, à l'exception de la façade ouest. On a même dépassé les 200 mm sur la quasi totalité des régions Nord et Est (avec une pointe à 341 mm à Saint-Benoît). Dans les Hauts des zones sous le vent, les lames d'eau recueillies ont, par contre, été moindres qu'à l'occasion du passage de DUMILE. Si les valeurs mesurées ont culminé à plus d'un mètre en 72h (1034 mm relevés au Cratère Commerson), comme pour DUMILE l'on a dépassé les 700 mm que sur une portion restreinte de l'île. En 3 jours, du 30 janvier au 2 février, on a relevé, pour les valeurs les plus remarquables : 909 mm à la Plaine des Palmistes ; 703 mm à la Plaine des Cafres ; 730 mm à Grand Ilet (cirque de Salazie) ; 483 mm à Cilaos (cirque éponyme) ; 409 mm à Aurère (cirque de Mafate) ; 466 mm à Bellevue Bras Panon.

In fine, le constat est donc à peu près le même que pour DUMILE, à savoir un événement pluvieux équivalent à un petit épisode pluvieux cyclonique et n'ayant donc rien d'exceptionnel. D'autant moins que les intensités pluvieuses observées ont été relativement modestes, bien inférieures à celles enregistrées lors de DUMILE ne serait-ce, et situant ainsi l'épisode FELLENG un cran bien en-dessous de son récent prédécesseur. Les durées de retour calculées étaient d'ailleurs à peu près partout inférieures à 5 ans, à une exception près, à savoir les pluies tombées au Tampon entre le 31 janvier et le 1er février, pour lesquelles la valeur de 247 mm de précipitations maximales en 12h, correspondait à la valeur décennale.

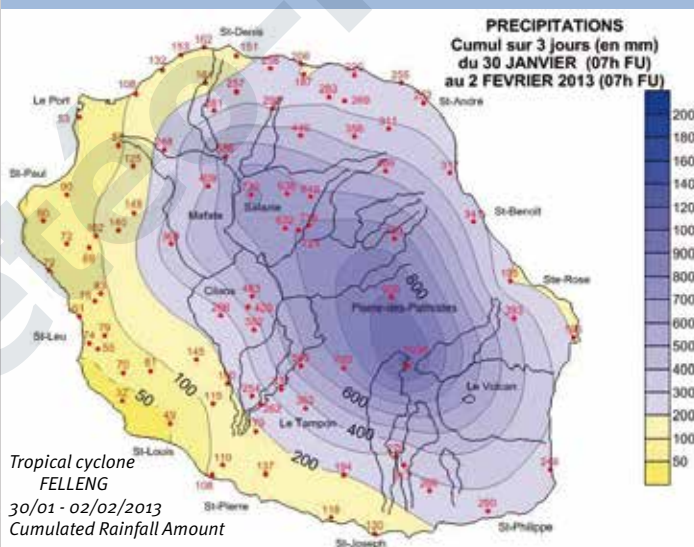
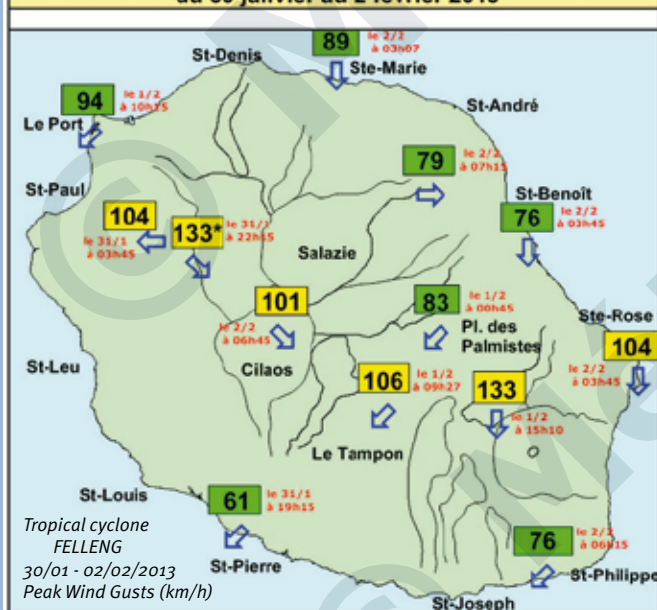
heights during the day of 2 February. The rains were intermittent, interrupted with sometimes long-lasting lulls, like in the morning of 31 January. Unlike DUMILE, which was almost deprived of peripheral bands, and for which the forced uplift along the slopes of the mountainous island had been the determining factor of the rainfall, this time the advection of the rain bands was the main element, hence a different distribution of the precipitations, with comparatively heavier rains over the windward areas of the northeastern half of the island and the coastal areas.

Whereas for DUMILE the 100 mm mark had been reached only on the southern coast, that threshold was exceeded this time over most of the island, except the western side. Rainfall amounts were even above 200 mm in almost all the northern and eastern regions (with a maximum recorded value of 341 mm at St Benoît). In the high grounds of the leeward areas, on the other hand, the rainfall amounts were lower than during DUMILE's episode. If the measured values culminated at more than one metre in 72h (1034 mm recorded at Commerson's Crater), amounts in excess of 700 mm were recorded only over a limited portion of the island, just like for DUMILE. In 3 days, from 30 January to 2 February and for the most remarkable values, the following figures were recorded : 909 mm at Plaine des Palmistes ; 703 mm at Plaine des Cafres ; 730 mm at Grand Ilet (Salazie amphitheatre) ; 483 mm at Cilaos (self-titled amphitheatre) ; 409 mm at Aurère (Mafate amphitheatre) ; 466 mm at Bellevue Bras Panon.

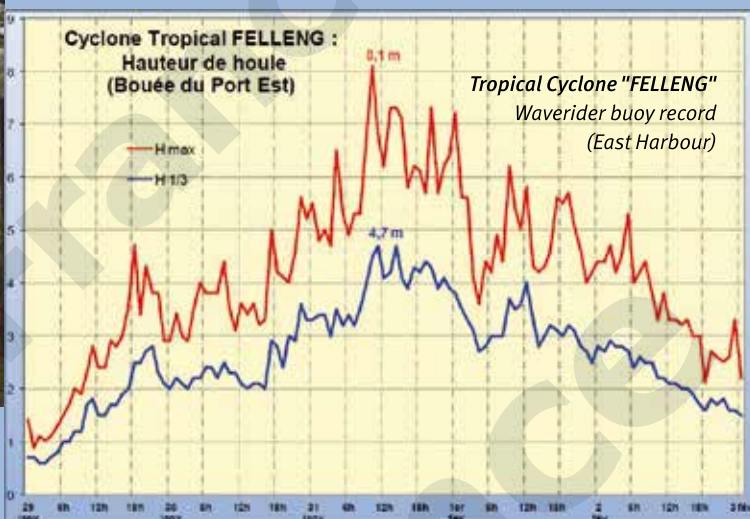
Eventually, the assessment was therefore about the same as for DUMILE, namely a rain episode similar to a minor cyclone rain event and which had nothing exceptional about it. All the less as the rainfall intensities observed were relatively modest, much lower than those recorded during DUMILE's passage for instance, so that the FELLENG's episode was more than a notch below its recent predecessor. Besides, the return periods calculated were below 5 years almost everywhere, with one exception, namely the rains that fell at le Tampon between 31 January and 1 February, for which the value of 247 mm of maximum rainfall in 12h, corresponded to the decennial value.

The same causes often producing the same effects, as the rainfall intensities, lower than those observed during the DUMILE episode, were compensated by the saturated ground after the January rains, the consequences of the rains were similar to those that resulted from DUMILE's passage, namely food crops and market gardening greatly suffered, which caused prices (of tomatoes in particular) to rocket on the

### CYCLONE TROPICAL "FELLENG" Rafales maximales en km/h du 30 janvier au 2 février 2013







Les mêmes causes produisant souvent les mêmes effets, les intensités pluvieuses moindres que celles observées à l'occasion de l'épisode DUMILE étant compensées par la saturation des sols après les pluies de janvier, les conséquences de ces pluies ont été analogues à celles consécutives au passage de DUMILE, à savoir cultures vivrières et maraîchages ayant grandement souffert, faisant flamber les prix sur les marchés pour plusieurs semaines (ceux de la tomate en particulier), radiers submergés ou emportés. Le radier de la rivière St-Etienne, à peine reconstruit quinze jours plus tôt (suite à sa destruction par DUMILE) a, ainsi, été de nouveau détruit...

Les crues occasionnées à l'occasion de cet épisode FELLENG n'avaient pourtant rien de remarquable, avec, tout comme pour le cas du passage de DUMILE, des durées de retour généralement inférieures à deux ans.

Mais si ces fortes pluies ont des effets négatifs sur le moment et à court terme, de par le ravinement et les crues induites, elles ont aussi un revers positif à plus long terme sur la ressource en eau de l'île. En l'occurrence, l'on peut, sans trop s'avancer, considérer que la balance fut globalement positive. Logiquement, compte tenu des précipitations recueillies, c'est la région Est qui a, cette fois-ci, connu l'impact le plus fort et le plus bénéficié de l'épisode pluvieux induit par FELLENG, avec une forte remontée observée du niveau des eaux tant superficielles que souterraines (avec un effet retard pour ces dernières, plus ou moins important suivant l'inertie des aquifères).

Après plusieurs années de sécheresse, les pluies étaient espérées. L'épisode DUMILE n'aurait à lui seul pas été suffisant et la "deuxième couche" apportée par FELLENG a, de ce point de vue, été une aubaine, comme en témoignent les cartes de pluviométrie ci-dessous, qui montrent la contribution primordiale et décisive de ces deux épisodes au bilan de la saison des pluies 2012-2013. Salvatrice serait d'ailleurs le qualificatif le plus approprié, tant les déficits pluviométriques auraient été exacerbés, jusqu'à un niveau extrême sur une large moitié ouest du département, sans l'occurrence de ces deux épisodes DUMILE et FELLENG (cf. carte ci-contre), qui à eux deux ont sauvé une saison des pluies, qui sinon aurait été calamiteuse (de fait tous les mois ont été déficitaires, sauf le mois de janvier...).

La ressource en eau de l'île, a ainsi grandement bénéficié de l'apport cumulé de ces deux épisodes successifs, qui survenus individuellement n'auraient pas été suffisants. En terme d'eaux superficielles, l'évolution la plus remarquable a concerné le Sud de l'île, avec une remontée spectaculaire et appréciable du niveau des cours d'eau. Pour la première fois depuis mars 2010, le débit médian de la rivière Langevin est ainsi redevenu (de manière temporaire) légèrement excédentaire (+13%), alors qu'il était encore largement déficitaire un mois plus tôt, en décembre 2012 (-55%). Un an auparavant, en février 2012, l'on avait même atteint un minimum historique, avec un débit médian de 140 l/s (à comparer avec un débit médian de 1350 l/s en janvier 2013). Pour ce qui est des nappes souterraines, l'impact fut beaucoup plus mitigé, puisqu'il aurait fallu bien plus de précipitations encore pour combler les déficits accumulés depuis 2010. (Données : source Office de l'Eau Réunion).

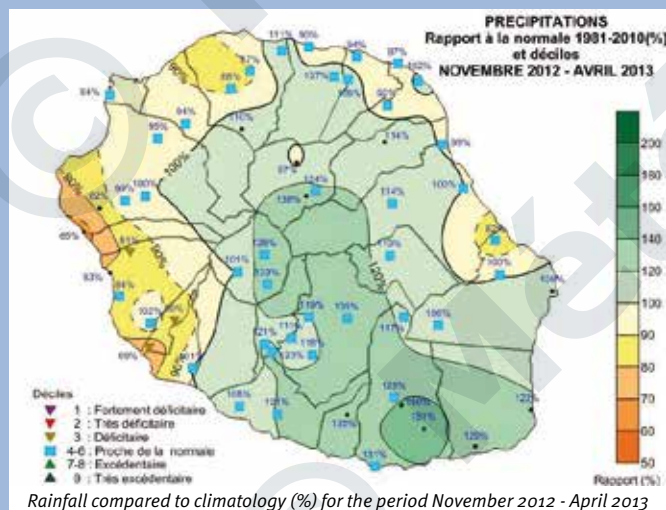
markets for several weeks, while some roads were flooded or damaged. The basement and through-passage over the St Etienne River, which had been rebuilt a fortnight before (after their destruction by DUMILE), were thus once again destroyed...

Yet, the floods generated during the FELLENG episode had nothing remarkable about them, with, just like for DUMILE's passage, return periods of less than two years generally.

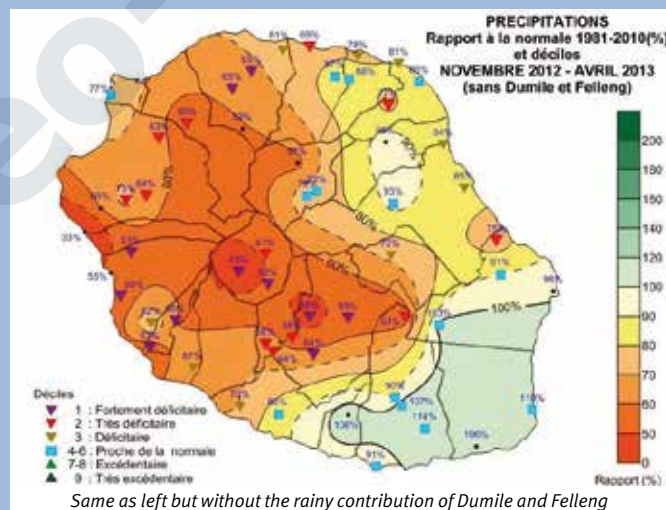
But if such heavy rains do have negative effects at the time they occur and on a short term basis, because of the gully erosion and the induced floods, they also have a positive impact on a longer term basis on the water supply of the island. In that case, it is possible to assume confidently that the balance was globally positive. Logically, considering the recorded rainfall, it was the eastern region which this time experienced the strongest impact and benefited most from the rain episode induced by FELLENG, with a notable rise of the levels observed, whether of the surface waters or the ground waters (with a delayed effect for the latter, more or less important according to the inertia of the aquifers).

After several years of drought, the rain was much needed and looked forward to. The DUMILE episode alone had not been sufficient and the "second layer" brought by FELLENG was, from this point of view, a godsend, as attested by the maps below, which show the huge and decisive contribution of the two episodes to the 2012-2013 rainy season. That contribution would be appropriately best described as saving, as the rain shortage would have been exacerbated, down to an extreme level over a wide western half of the island, without the occurrence of both the DUMILE and FELLENG episodes (cf. map opposite), which together saved a rainy season that otherwise would have been calamitous (actually every month had been below normal, except the month of January...).

The water supply of the island thus greatly benefited from the cumulated contribution of the two successive episodes, which had they occurred alone would not have been sufficient. In terms of surface water, the most remarkable evolution and response concerned the South of the island, with a spectacular and appreciable rise of the rivers' level. For the first time since March 2010, the median flow of the Langevin River had thus come back (temporarily) above normal again (+13%), whereas it was still greatly below normal a month earlier, in December 2012 (-55%). One year before, in February 2012, a historic minimum had even been reached, with a median flow of 140 l/s (to be compared with a median flow of 1350 l/s in January 2013). As far as the ground water was concerned, the impact was much more mitigated, as still far heavier rains would have been necessary to make up for the cumulated shortage since 2010. (data : Water Office in La Réunion).

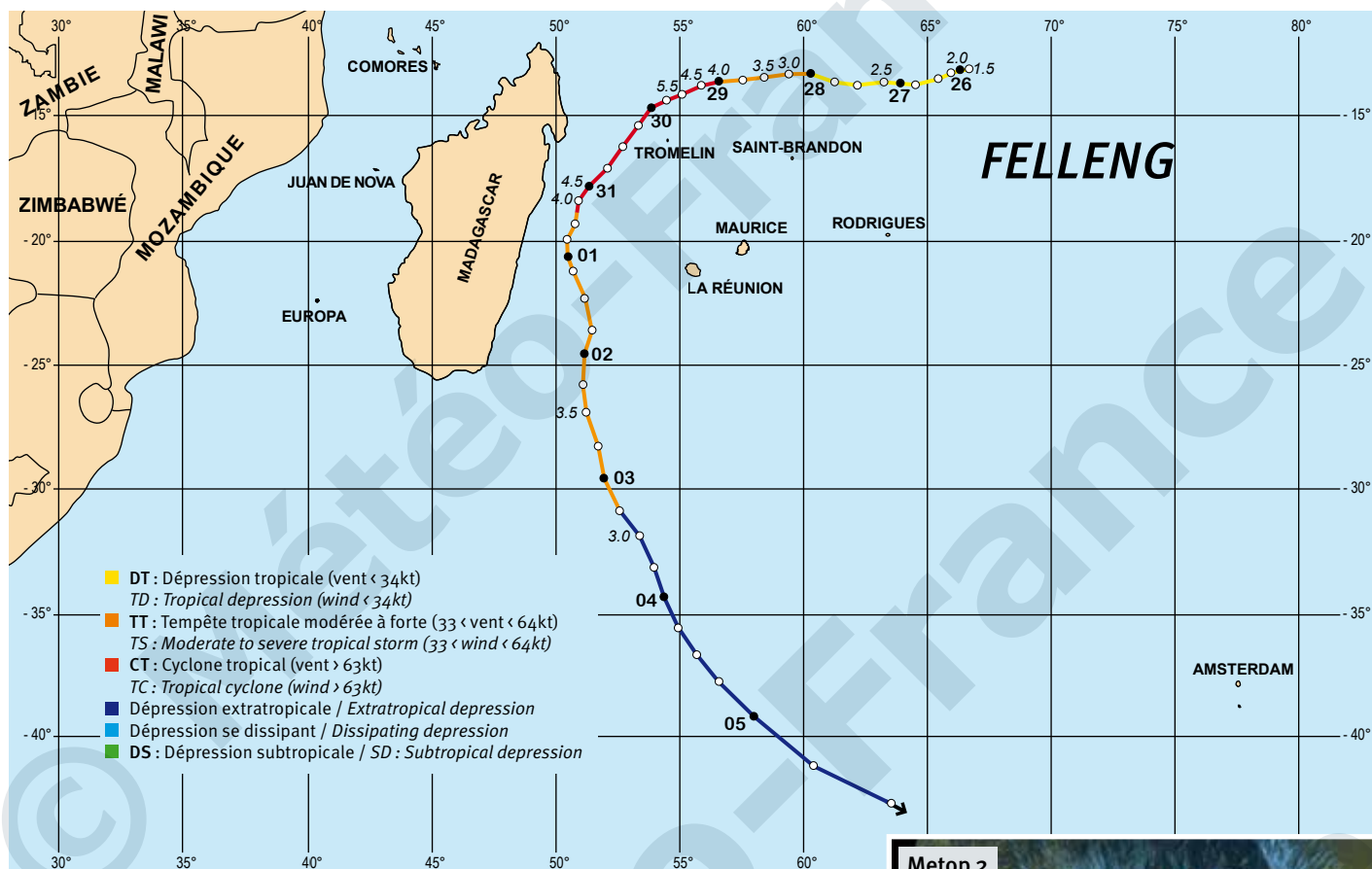


Rainfall compared to climatology (%) for the period November 2012 - April 2013



Same as left but without the rainy contribution of Dumile and Felleng

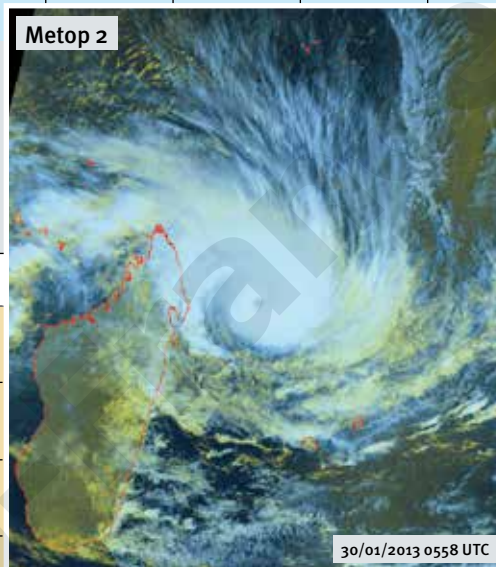




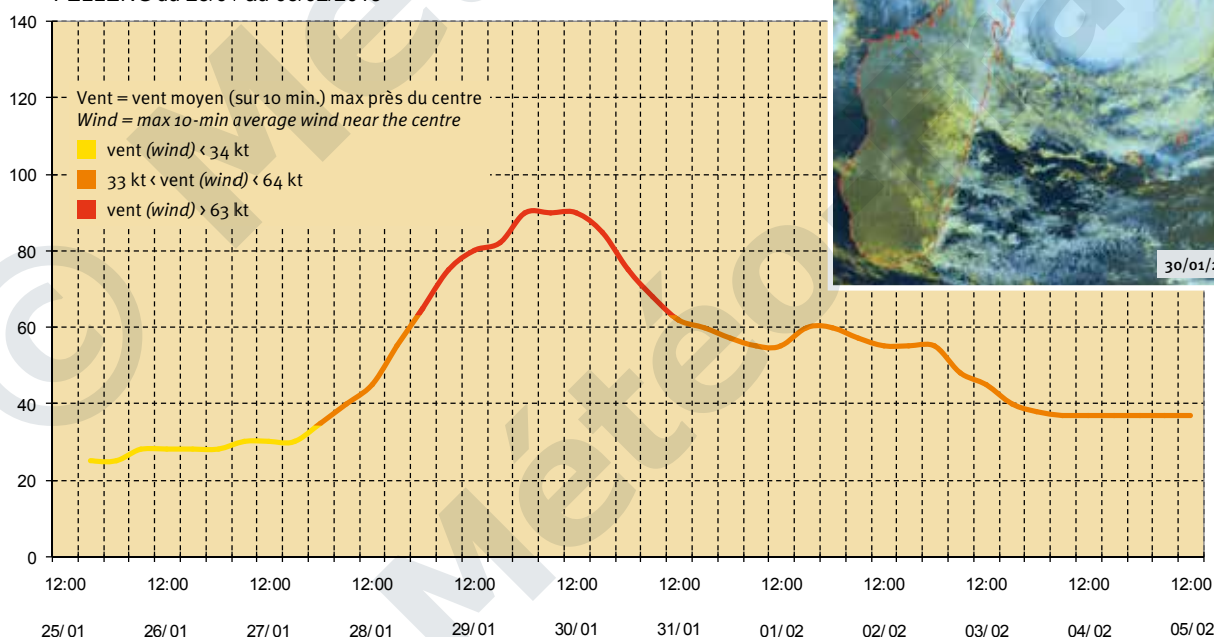
Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

Le cyclone tropical intense **FELLENG** au maximum de son intensité. Le météore trône au milieu des différentes îles du Sud-Ouest de l'océan Indien et a tiré profit d'une excellente divergence d'altitude du côté équatorial (magnifiquement matérialisée sur l'imagerie satellitaire par l'épanchement très généreux des cirrus au nord du système nuageux) pour s'intensifier.

*Intense tropical cyclone **FELLENG** at its maximum of intensity. The meteor which had price of place among the different islands of the South-West Indian Ocean and had taken advantage of an excellent upper divergence (nicely portrayed on the satellite imagery by the very generous fanning of cirrus to the north of the cloud system) to intensify.*



FELLENG du 25/01 au 05/02/2013



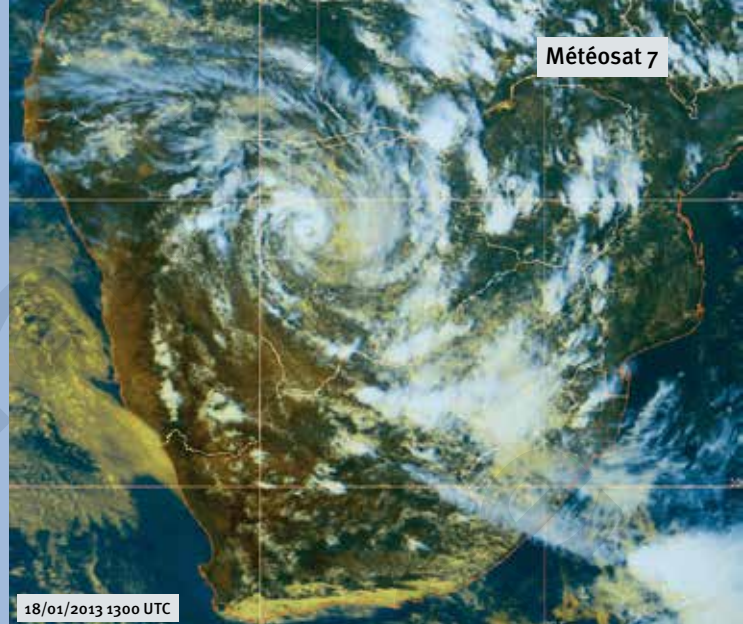
EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES  
6 - HRLY MAX WIND (KT) AND CI TIME -EVOLUTION (LEFT AND RIGHT)

## Dépression sur terre

Durant toute la troisième semaine de janvier 2013, un système dépressionnaire inhabituel a évolué sur le continent africain. Initialement, cette dépression sur terre formée au milieu de l'Afrique australe, en marge septentrionale du Kalahari, constituait surtout une curiosité météorologique, présentant une évidente similarité avec des systèmes analogues se développant occasionnellement sur l'Australie (à des latitudes équivalentes et sur des terres semi-arides également), où on leur attribue souvent la dénomination non officielle de "landphoons". Ultérieurement, elle est devenue un système pluvieux marquant, avec des conséquences importantes en terme d'inondations induites.

Évoluant plusieurs jours durant sur le Botswana, dont la partie nord a ainsi été significativement arrosée, la perturbation s'est tout d'abord déplacée vers l'ouest, avant de faire volte-face pour se diriger ensuite durablement en direction de l'est-sud-est. Évacuant le Botswana le 20 janvier, elle a ensuite, au cours des deux journées suivantes, longé la frontière entre le Zimbabwe et l'Afrique du Sud, puis traversé la partie sud du Mozambique. C'est durant ces 48h comprises entre les 20 et 22 janvier, qu'elle a occasionné les plus fortes pluies orageuses dans tous les secteurs visités (cf. carte de précipitations estimées par satellite pour la période du 15 au 21 janvier 2013 – en bas de page suivante).

Ces pluies seront à l'origine d'inondations catastrophiques et meurtrières au cours des jours suivants dans les provinces mozambicaines de Gaza et d'Inhambane en particulier (y faisant plusieurs dizaines de victimes et affectant plus de 200 000 habitants). Le minimum dépressionnaire (alors estimé à 999 hPa) quitte le continent africain en fin de nuit du 21 au 22 janvier. La possibilité qu'il puisse se muer en une dépression tropicale sur les eaux du Canal de Mozambique était initialement sérieusement envisagée par les modèles numériques, mais des conditions environnementales défavorables (présence de cisaillement vertical de vent) en décideront finalement autrement.



Sur ces images des 16 et 18 janvier, on peut admirer la belle configuration nuageuse affichée par la dépression évoluant alors sur les terres du Botswana (entre le delta de l'Okavango et le Kalahari – non loin de la frontière namibienne, le 18). L'organisation des bandes nuageuses convectives, en particulier près du centre du système, et l'imposante circulation divergente en altitude, lui confèrent une signature satellitaire alors très typée, dont on retrouve les caractéristiques lors du développement de phénomènes analogues de l'autre côté de l'océan Indien, quand des systèmes dépressionnaires similaires se forment occasionnellement sur le continent australien (où on leur attribue souvent la dénomination non officielle de "landphoons").

*The overland depression which had concerned a large part of austral Africa during the third week of January 2013, generated heavy rains over the different territories it crossed, Botswana of course since hosting the meteor for almost a week; but also southern Zimbabwe, northern South Africa and the southern part of Mozambique. Among the most remarkable rainfall values observed, one can quote the 441 mm fallen in 36h at Thohoyandou (Province of Limpopo – North South Africa), but the satellite estimation suggested that there must have been even more substantial rainfall a little farther to the north, on the other side of the frontier, on the far southeast of Zimbabwe.*

*Those rains had brought about severe and deadly floods. Swollen upstream by all the tributaries coming from South Africa or Zimbabwe, the rise in the water level of the Limpopo River, mainly, was exceptional. Exceeding its normal level by more than five meters, it overflowed its banks, spreading over more than 10 km in width in places, as attested by the satellite imagery (see the comparison below between the acquired images before the event – on 9 January in this case – and during the flood – on 25 January). The town of Chokwe was the most severely struck: during the night of 23 to 24 January, the waters rapidly rose there and invaded a large part of the town whose inhabitants were caught off guard and there were dozens of casualties. On the image acquired by satellite Terra on 25 January (right) to be compared with the corresponding image of February 2005 (left) as a reference to a normal situation, one can clearly see the Limpopo which had overflowed its banks and the induced floods on the right bank at the level of the town of Chokwe and downstream (the muddy waters and the overflowing river appear in pink lavender). Then the flood spread to the coast, also affecting the big city of Xai Xai.*

*Another flood, actually less devastating, but just as spectacular, and even more visible from space, was the flood of the Okavango Delta (see image bottom left opposite page), which occurred much earlier than usual in the year (it normally happens in March or April, after a long journey of the waters of the Okavango River from Angola).*

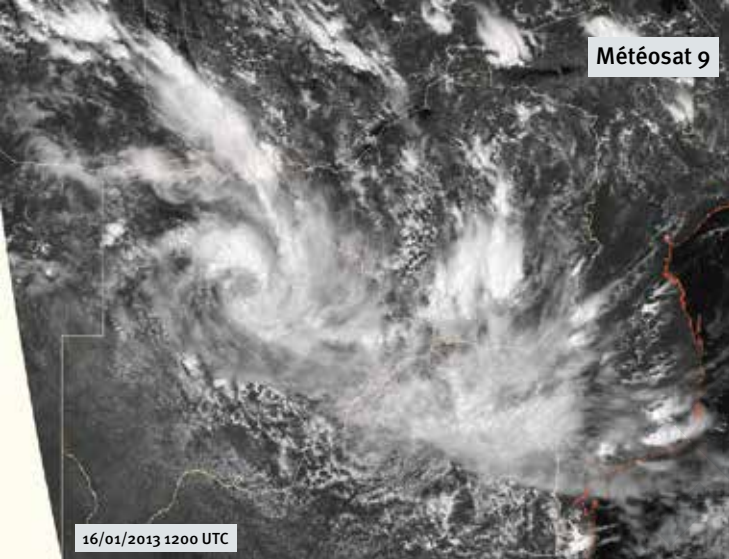


Le système dépressionnaire qui a concerné une bonne partie de l'Afrique australe durant la troisième semaine de janvier 2013, a occasionné des pluies importantes sur les différents territoires traversés, le Botswana bien sûr, qui a été l'hôte du météore pendant près d'une semaine, mais également le sud du Zimbabwe, le nord de l'Afrique du Sud et la partie sud du Mozambique. Parmi les valeurs de précipitations les plus remarquables observées, on peut citer les 441 mm tombés en l'espace de 36h à Thohoyandou (Province de Limpopo – Nord de l'Afrique du Sud), mais l'estimation satellitaire laisse à penser que des précipitations encore plus importantes ont dû tomber un peu plus au nord, de l'autre côté de la frontière, sur l'extrême sud-est du Zimbabwe.

Ces pluies ont causé localement de sévères et meurtrières inondations. Grossi en amont par tous ses affluents issus d'Afrique du Sud ou du Zimbabwe, le fleuve Limpopo, tout particulièrement, a connu une crue exceptionnelle. Dépasant de plus de cinq mètres son niveau normal, il est sorti de son lit, s'étalant par endroits sur plus de 10 km de large, comme en a témoigné l'imagerie satellitaire (voir la comparaison ci-dessus entre les images acquises avant l'événement – le 9 janvier en l'occurrence – et pendant la crue – le 25 janvier). La localité de Chokwe a été la plus sévèrement touchée : dans la nuit du 23 au 24 janvier, les eaux y sont montées rapidement et ont envahi une bonne partie de la ville, prenant par surprise les habitants et faisant plusieurs dizaines de victimes. Sur l'image acquise par le satellite Terra le 25 janvier (à droite), à comparer avec l'image jointe de février 2005 comme référence d'une situation normale (à gauche), on peut clairement voir la crue du Limpopo et les inondations induites sur sa rive droite au niveau de la localité de Chokwe et en aval (les eaux limoneuses du fleuve et ses débordements apparaissent en rose lavande). La crue s'est ensuite propagée jusqu'à la côte, affectant également l'importante cité de Xai Xai.

Une autre crue, certes moins dévastatrice, mais tout aussi spectaculaire, et encore plus visible depuis l'espace, a été la crue du Delta de l'Okavango (ci-contre), survenant beaucoup plus tôt dans l'année qu'à l'ordinaire (elle arrive normalement en mars ou avril, après un long parcours des eaux du fleuve Okavango depuis l'Angola).





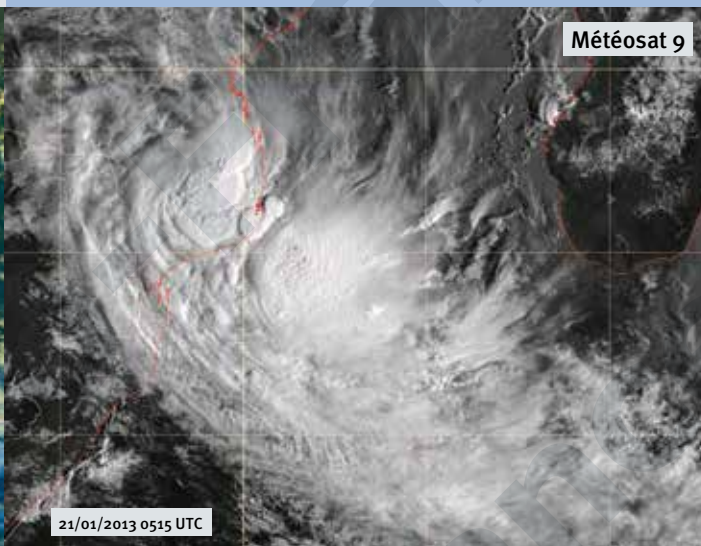
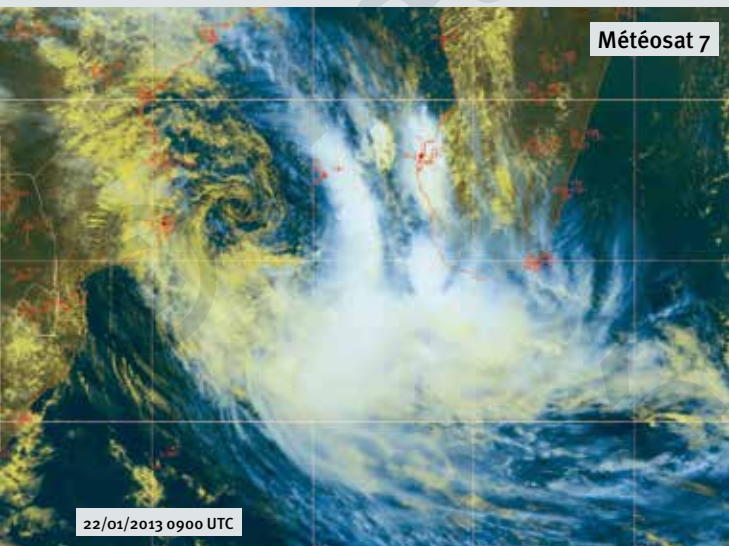
On the images of 16 and 18 January, one can admire the beautiful cloud pattern displayed by the depression evolving then over the Botswana lands (between Okavango and Kalahari - not far from the Namibian border, on 18 January). The organization of the convective cloud bands, especially near the centre of the system, and the impressive upper divergence, gave it quite a peculiar satellite signature, whose characteristics can be also seen during the development of the same kind of phenomena on the other side of the Indian Ocean, when similar low-pressure systems occasionally form on the Australian continent (where they are often unofficially called "landphoons").

### Overland depression

During the whole third week of January 2013, an unusual low-pressure system evolved over the African continent. Initially, that overland depression emerged in the middle of austral Africa, on the northern edge of Kalahari, was just a peculiar meteorological rarity, which had obviously something in common with similar systems that occasionally develop over Australia (at equivalent latitudes and over semiarid lands too), where they are often unofficially called "landphoons". Subsequently it became a prominent rain system, with significant consequences in terms of induced floods.

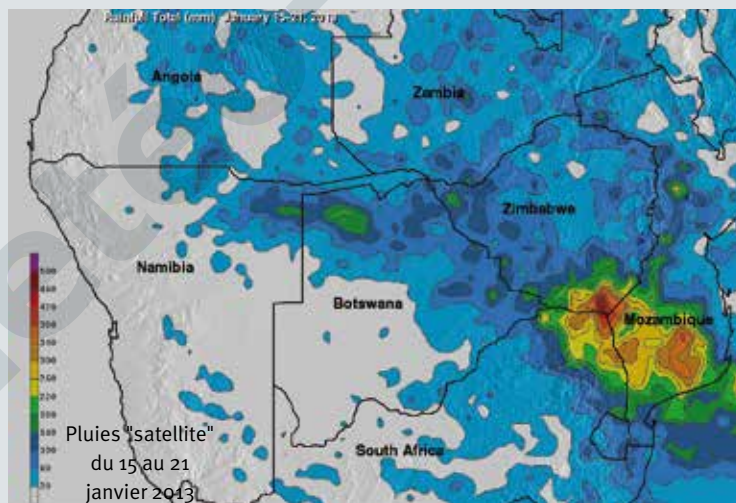
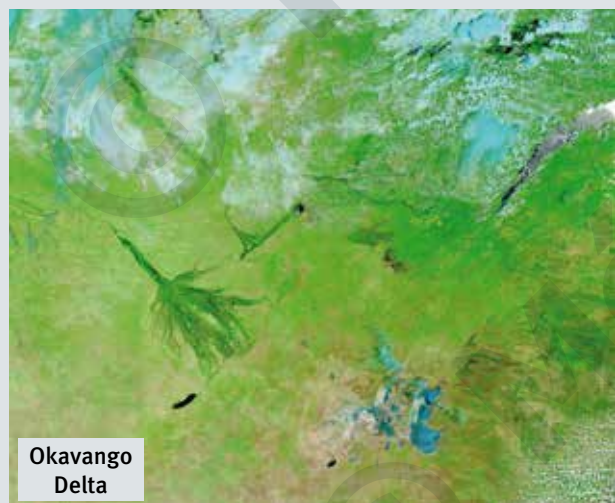
Evolving for several days over Botswana, whose northern part had thus undergone significant rainfall, the disturbance first shifted towards the west, before turning round then to head durably east-southeastward. Withdrawing from Botswana on 20 January, it then skirted, during the next two days, the border between Zimbabwe and South Africa, before crossing the southern part of Mozambique. It was during the 48h time lapse spanning between 20 and 22 January that it brought about the heaviest storm rains in all the sectors it visited (cf. map of rainfall estimated by satellite for the period from 15 to 21 January 2013 – see bottom right).

Those rains would be at the origin of catastrophic and deadly floods during the following days in the Mozambique provinces of Gaza and Inhambane in particular (claiming several dozen casualties and affecting more than 200 000 inhabitants). The low (then estimated at 999 hPa) left the African continent towards the end of the night of 21 to 22 January. The likelihood that it may turn into a tropical storm on the waters on the Mozambique Channel was initially seriously considered by the numerical models, but because of unfavourable environmental conditions (presence of a vertical windshear) it was decided otherwise eventually.



Après un périple de plus d'une semaine sur l'Afrique australe, et une dernière journée où son passage s'est accompagné de puissants développements orageux sur les provinces sud mozambicaines de Gaza et d'Inhambane, à l'origine de pluies diluviennes (211 mm en 24h tombés à Xai Xai, 303 mm recueillis en 48h à la station de Panda) et d'inondations majeures dans tout le bassin du Limpopo, le minimum dépressionnaire a finalement quitté les terres africaines dans la nuit du 21 au 22 janvier 2013. Mais sa deuxième vie sur les eaux chaudes du Canal de Mozambique tournera court, en raison d'un environnement météorologique hostile, qui ne lui permettra pas de se transformer en dépression tropicale plus classique (cf. l'image satellite du 22 janvier).

After a week's journey over southern Africa, and a last day when its passage was associated with the development of powerful thunderstorms over the southern Mozambique provinces of Gaza and Inhambane, which generated torrential rains (211 mm recorded in 24h at Xai Xai, 303 mm in 48h at the Panda station) and major floods over the whole Limpopo basin, the low eventually left the African lands during the night of 21 to 22 January 2013. But its second life over the warm waters of the Mozambique Channel fizzled out, because of a hostile meteorological environment, which did not allow it to turn into a more classic tropical depression (cf. satellite image of 22 January).





Cette vague de cyclogenèses en cascade débute donc avec GINO, dont le point de départ va coïncider non seulement avec l'émergence de la puissante pulsation de la MJO à venir, mais aussi avec l'arrivée concomitante d'une onde de Rossby équatoriale (par l'est donc). De cette convergence d'ondes équatoriales, va résulter une modulation à la hausse de la convection profonde et du champ

L'évolution est des plus lentes au cours des trois jours suivants : le 9, on note un certain regroupement de l'activité convective et l'amorce d'un mouvement tourbillonnaire global, associé à une divergence d'altitude prometteuse. Mais la circulation de basses couches demeure caractérisée par la présence d'un simple talweg de mousson s'étirant au voisinage du 10<sup>ème</sup> parallèle Sud, si l'on en juge par le champ de vents en surface dérivé des données d'Oceansat. Le début de journée du 10 ne marque pas d'amélioration : on conserve une zone perturbée très allongée, puisque s'étalant sur près de 20 degrés de longitude, au sein de laquelle il est de prime abord bien difficile d'isoler un minimum dépressionnaire. Mais cela devient cependant beaucoup plus net au fil de la journée, avec un centre principal qui se met en évidence et ressort désormais clairement, via l'activité convective qui se consolide à proximité ou commence à se structurer autour. Si bien qu'au matin du 11 février, le gain d'organisation est

## EVOLUTION

L'intensification se poursuit le lendemain à un rythme soutenu (supérieur à la norme climatologique de un point par jour sur l'échelle d'intensité de Dvorak), à la faveur de conditions environnementales désormais presque optimales : le cisaillement vertical de vent tombe à son plus bas, tandis que l'épanchement du flux sortant



13/02/2013 1030 UTC

Le cyclone tropical GINO atteint son maximum d'intensité au milieu de l'océan Indien Sud tropical.

*Tropical cyclone GINO reaching its maximum of intensity in the middle of the tropical South Indian Ocean.*

Four mature phenomena would thus form in a row : after GINO in the South-West Indian Ocean, there would follow tropical cyclone RUSTY to the northwest of Australia, end of February, then tropical cyclone SANDRA and tropical storm TIM in the South-West Pacific, during the first fortnight of March.

That wave of successive cyclogenesis therefore began with GINO, whose starting point would coincide not only with the emergence of the powerful MJO pulse to come, but also with the concomitant arrival of an Equatorial Rossby wave (from the east hence). That convergence of equatorial waves would result in an upward modulation of the deep convective activity and of the windfield, with a windburst of the equatorial westerlies coupled with the active phase of the convection.

As early as 5 February, the numerical models forecast, after 48h, the very slow deepening of a low to the east of longitude 90°East, and foresaw that it would thereafter enter RSMC La Reunion's area of responsibility. As a matter of fact, two "twin" lows did emerge on both sides of the equator on 7 February, in connection with the strengthening of the lower troposphere equatorial westerly flow. On the southern hemisphere side, some convection was then present over a wide area stretching from the outskirts of the Indonesian coasts of Sumatra (Mentawai Islands) to longitude 80°East, but in a still scattered and very fluctuating way at that stage.

The evolution was very slow during the next three days : on 9 February, some clustering of the convective activity and a global incipient whirling movement, associated with a promising upper

13/02/2013 0505 UTC

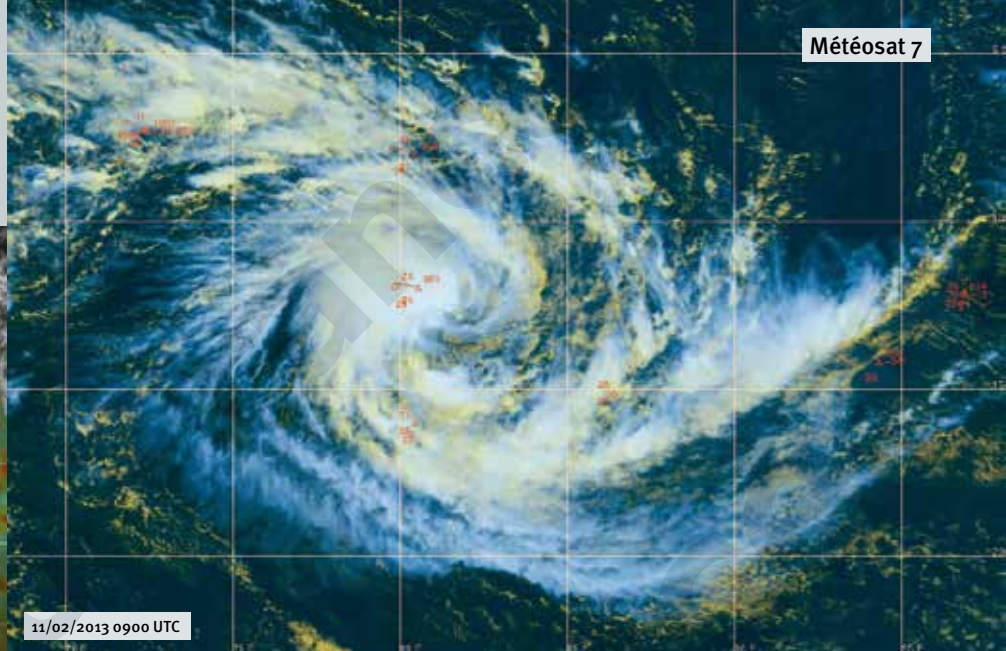
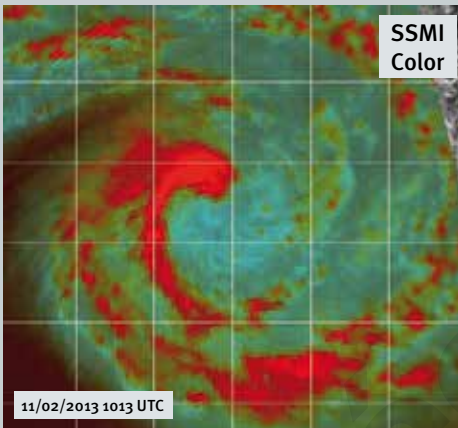
d'altitude demeure particulièrement favorisé, principalement du côté polaire mais également du côté équatorial, où l'évacuation de la masse est relayée jusque loin dans l'hémisphère Nord par le puissant courant jet de sud-ouest qui démarre depuis l'Inde. Un œil irrégulier se forme dans l'après-midi (voir image page 69), mais peine ensuite à se consolider et demeure encore en construction la nuit suivante, même sur l'imagerie micro-onde, ou carrément inapparent sur l'imagerie infrarouge. Est-ce la présence de bandes périphériques de convection qui perturbe la circulation secondaire du système, ou la manifestation d'un début de ventilation de nord-ouest (se traduisant par une petite reprise du cisaillement vertical de vent – mais encore modeste malgré tout) ? Toujours est-il que le processus d'intensification semble patiner et chercher un second souffle.

Qu'il semble avoir trouvé en début de journée du 13 février, puisqu'un œil réellement digne de ce nom se constitue alors, d'abord sur l'imagerie micro-onde,

## FORMATION

*After the withdrawal of FELLENG from the tropical domain, the lull would not last long over the basin. Nothing unnatural all in all, considering the period which corresponds climatologically to the core of the cyclone season. But then, everything depends on the context in terms of intra-seasonal oscillation. In this case, the former would in fact support a revival of cyclone activity, which, in view of the timing in the calendar, might potentially lead up to the activity peak of the season. As a matter of fact, an active phase of the MJO (Madden-Julian Oscillation) settled over the basin during the first ten days of February. Actually kicking off from the central portion of the tropical Indian Ocean, it then spread to the maritime continent and thereafter to the Western Pacific (at the beginning of March). As the most powerful MJO pulse of the warm season, it would logically contribute to the spawning of several tropical storms during its eastward propagation.*





**Cyclogenèse du futur GINO sur l'Est du bassin.** Le météore est encore au stade de dépression tropicale, quand son centre transite non loin d'une des bouées ancrées du réseau RAMA, dont les observations, tant de vent que de pression, valident l'intensité estimée. L'image parle d'elle-même quant à la bonne divergence d'altitude dont bénéficie le système. La contrainte cisaillée d'est-sud-est résiduelle est en voie d'atténuation.

**Cyclogenesis of forthcoming GINO over the East of the basin.** The meteor was still at the tropical depression stage, when its centre transited near one of the moored buoys of the RAMA network, whose observations, both of wind and pressure, validated the estimated intensity. The image is self-explanatory as to the good upper divergence from which the system benefited. The residual east-southeasterly sheared constraint was in the process of abating.

divergence, were noticeable. But judging by the surface windfield derived from the Oceansat data, the low-level circulation was still characterized by the presence of a mere monsoon trough stretching in the vicinity of latitude 10°South. No improvement occurred at the beginning of 10 February: there remained a very elongated zone of disturbed weather, which spread over almost 20 degrees of longitude, and within which it was difficult to spot a low at first sight. But the situation became much clearer as the day went on, with a main centre that ostensibly stood out, emphasized via the convective activity which consolidated near it or began to get organized around it. So that in the morning of 11 February, the gain in organization was striking compared to the day before and justified the upgrading of the system to the tropical disturbance stage, with a cloud pattern that undoubtedly conjured up an impending cyclogenesis. Whereas the system had been moving westward rather rapidly up to then, it had slowed down during the previous night, a deceleration that foreshadowed a change in direction. In connection with an approaching frontal trough, the mid-troposphere ridge present in the vicinity of latitude 20°South had started to weaken, with a barometric col which would rapidly slot into it, while on the contrary a high would expand over the eastern part of the tropical southern Indian Ocean, taking control of the steering flow of the disturbance. Steered along the western boundary of that high, the latter headed for the south-southwest, towards the weakness within the pressure field induced by the approaching polar trough. That change of trajectory could only favour the developing process of the disturbance

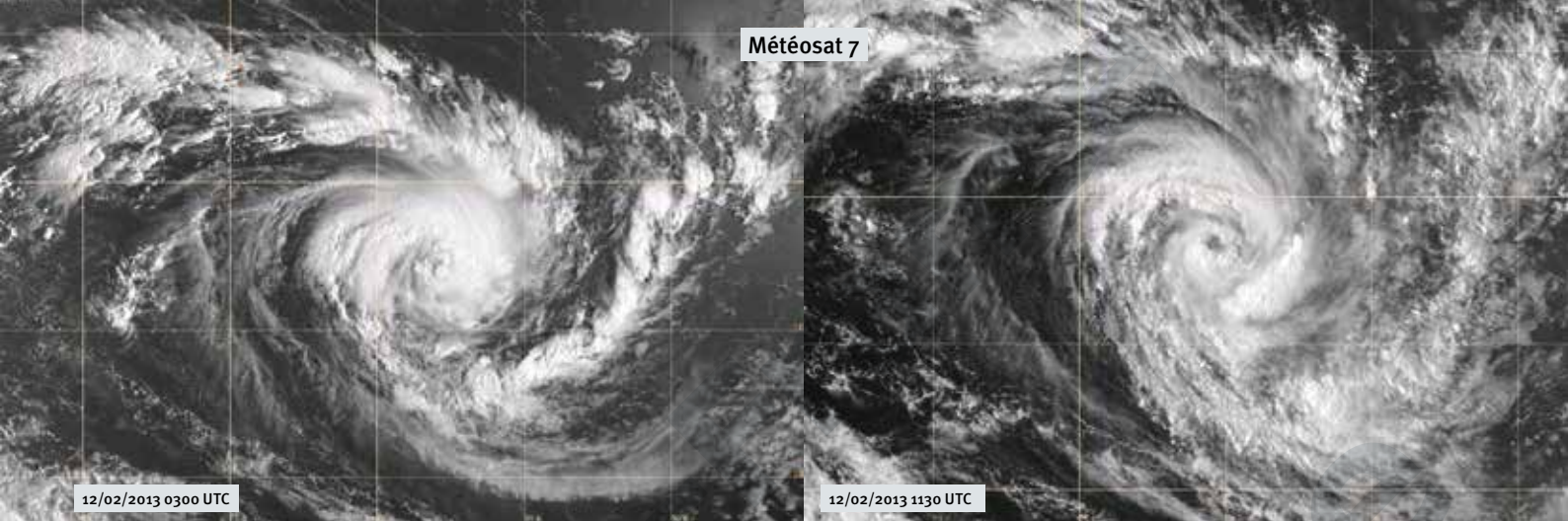
(starting with the completion of the cyclogenesis process to begin with), as it brought it nearer the axis of the upper ridge, with the primary induced consequence of easing the vertical windshear.

## EVOLUTION

A curved band of convection had formed in the western semi-circle of the clockwise circulation of what became moderate tropical storm GINO towards the end of the afternoon of 11 February. The part of the curved band that directly interacted with the monsoonal feeding flow, in this case the northeastern portion near its "head", was associated with the strongest winds (reaching 40 knots at that time). Besides, the Ascaw swath acquired at the beginning of the ensuing night, showed that the curved band had wrapped around a relatively wide area of weak winds, since it was about 120 km in diameter on average. That initial characteristic would turn out to be a robust structural datum, as it finally transpired that it was difficult to modify, that central zone of light winds subsequently shrinking only modestly, even when the phenomenon reached a significant intensity. The intensification went on the following day at a sustained pace (exceeding the climatological rate of one point per day of gain on the Dvorak intensity scale), owing to henceforth almost optimal environmental conditions: the vertical windshear was at its lowest level, while the upper outflow remained particularly favoured, mainly poleward but also equatorward, where the powerful southwesterly jet stream starting from India took over from the initial outflow to evacuate the mass

puis sur l'imagerie classique. Le stade minimal de cyclone tropical est estimé atteint à ce moment là. Mais cette nouvelle étape dans l'évolution du système apparaît toutefois arrachée aux forceps et fragile, car l'œil ne respire pas une grande solidité, ayant du mal à se refermer complètement, avec une configuration qui s'apparente d'ailleurs encore à un œil en bande sur l'image AMSU-B Metop de la matinée. Si l'on ajoute à cela que GINO vient d'atteindre son point de recourbement, infléchissant sa course en direction du sud-sud-est à cet instant, les signaux sont en train de virer à l'orange. Le fait que le météore voit ainsi sa trajectoire modifiée signifie, en effet, que le phénomène vient de passer l'axe de la dorsale d'altitude, ce qui augure généralement d'une tendance à la hausse à venir pour le cisaillement vertical de vent. C'est pourquoi dans cette configuration très classique de trajectoire parabolique ou pseudo-parabolique, le point de recourbement correspond souvent au maximum d'intensité. Dans le cas présent, il va intervenir quelques heures plus tard, dans l'après-midi du 13, moment où le cyclone présente sa structure la plus aboutie, avec en particulier un amas nuageux central plus symétrique. Débute ensuite la phase d'affaiblissement du météore. Au sud du 20<sup>ème</sup> parallèle Sud, le contenu énergétique océanique devient limite, avec des eaux dont la température de surface excède tout juste le seuil des 26°C. Mais ce facteur énergétique ne constituera pas l'élément déterminant conditionnant la dégénérescence annoncée de GINO. La cause première du déclin de la perturbation tient dans le renforcement progressif du





**Phase d'intensification de la tempête tropicale GINO.** A partir de la bande incurvée initiale, un œil irrégulier se constitue. Des tours chaudes convectives se développant au cœur des perturbations, telles celles que l'on distingue très bien sur l'image matinale de 03 utc, jouent souvent un rôle important dans ces processus d'intensification.

**Intensification phase of tropical storm GINO.** An irregular eye formed from the initial curved band. Convective hot towers that develop within disturbances, such as those that can be very clearly seen on the morning image of 03 utc, often play an important part in those intensification processes.

cisaillement vertical de vent. Il se manifeste dès la soirée de ce 13 février, avec un système qui présente sur l'imagerie micro-onde les stigmates caractéristiques de l'impact destructeur d'une ventilation de nord-ouest, avec une structure éventrée du côté au vent de cette ventilation, qui pénètre ainsi facilement jusqu'au cœur du cyclone.

Au matin du 14, un œil résiduel est encore visible sur l'imagerie satellitaire classique, pouvant faire illusion sur les capacités du météore à résister à la contrainte cisailée. Mais l'imagerie micro-onde est beaucoup plus explicite sur la déstructuration déjà avancée du système nuageux et deux-trois heures plus tard l'imagerie classique se met au diapason, affichant une configuration franchement cisailée, le centre de la circulation de basses couches commençant à apparaître en bordure de la convection résiduelle, désormais bien malingre et réduite au quadrant sud-est de la perturbation, déclassée en forte tempête tropicale.

GINO, dont le déplacement avait été jusque là plutôt régulier, en tout cas en terme de vitesse de déplacement (assez stable un peu au-dessus des 15 km/h), accélère sa course à plus de 25 km/h dans l'après-midi. Le météore ne plonge pas pour autant vers le Grand Sud : il continue en fait de contourner la dorsale de moyenne troposphère toujours bien ancrée sur la partie est de l'océan Indien et sa trajectoire s'oriente ainsi progressivement plus est-sud-est, avant de recourber en direction de l'est-nord-est en fin de journée du 15 février.

La dépression s'est en bonne partie comblée, mais des vents forts perdurent malgré tout au sein de la circulation dépressionnaire et plus particulièrement du côté sud à sud-ouest, par effet de gradient avec les hautes pressions subtropicales qui poussent par l'ouest. Des vents de force tempête sont ainsi

*far away in the northern hemisphere. An irregular eye formed in the afternoon (see images above), but thereafter struggled to consolidate and was still in the making during the ensuing night, even on the microwave imagery, or even became downright invisible on the infrared imagery. Was it that the secondary circulation of the system was disturbed by the presence of outer convective bands or was it the outward sign of an incipient northwesterly ventilation (resulting in a slight revival of the vertical windshear – however modest in spite of everything) ? The fact remained that the intensification process seemed to falter and was trying to get its second wind.*

*That was what it seemed to have done at the beginning of 13 February, as an eye really worthy of the name then formed, first on the microwave imagery, then on the classic imagery. It was estimated that the stage of tropical cyclone had been reached at that time. However that new step in the evolution of the system appeared to have been very laboriously snatched and proved to be fragile, because the eye did not exude robustness, as it found it difficult to close completely, with a configuration that was indeed still akin to a banding eye pattern on the Metop AMSU-B image in the morning. If one moreover considered the fact that GINO had just reached its recurvature point (its track bending at that moment towards the south-southeast), the prospects did not look very favourable for the storm. Such a modification of the trajectory indeed did not bode well for the health of the meteor, as it actually meant that the phenomenon had just crossed the axis of the upper ridge, which generally heralds an increasing trend of the vertical windshear. That is why in that very classic configuration of parabolic or pseudo-parabolic trajectory, the recurvature point often corresponds to the maximum*

*of intensity of the system. In the present case, the intensity peak would occur a few hours later, in the afternoon of 13 February, when the cyclone exhibited its best achieved structure, with in particular a more symmetrical central cloud core. Then began the weakening phase of the meteor. To the south of latitude 20°South, the oceanic heat content was becoming borderline sufficient, with waters whose surface temperature was just above the 26°C threshold. But the energetic factor would not be the determining element conditioning the anticipated decay of GINO. The prime reason for the decline of the disturbance lay in the gradual detrimental increase of the vertical windshear that started to be felt as early as the evening of 13 February, when the system displayed on the microwave imagery the characteristic marks of the damaging impact of the northwesterly ventilation, with a ripped off structure on the windward side of the ventilation, which thus easily penetrated to the core of the cyclone. In the morning of 14 February, a remnant of the former eye was still visible on the classic satellite imagery, which might give an illusion of the meteor being able to resist the windshear. But the microwave imagery was far more telling about the already well advanced destructuring of the cloud system and two or three hours later the classic imagery followed suit, exhibiting a clearly sheared pattern, as the low-level circulation centre began to appear on the edge of the residual convection, henceforth very puny and confined to the southeastern quadrant of the disturbance, downgraded as a severe tropical storm.*

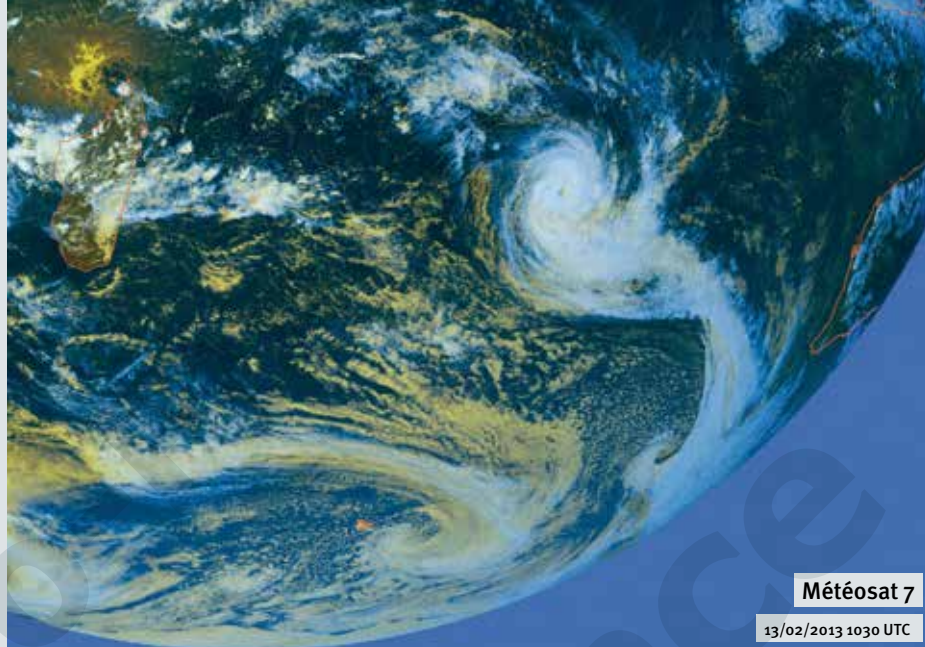
*GINO, which had up to then moved at a regular pace, at least in terms of motion speed (fairly stable a little above 15 km/h), gathered speed up to more than 25 km/h in the afternoon. However, the meteor did not head straight towards*



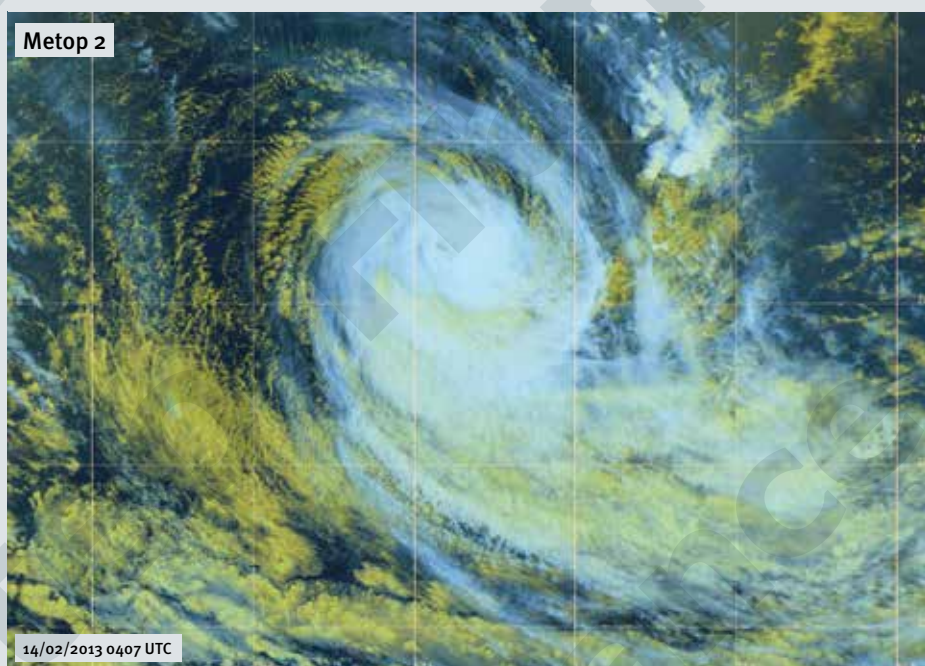
the Far South : it went on skirting round the mid-troposphere ridge still firmly anchored over the eastern part of the Indian Ocean and its trajectory progressively turned more towards the east-southeast, before curving towards the east-northeast at the end of the day of 15 February.

The depression had mostly filled, but in spite of that strong winds persisted locally within the clockwise circulation and more particularly on the southward to southwestward side, by gradient effect with the subtropical high that was pushing from the west. By the way? storm force winds were still analysed by the Oceansat scatterometer radar. However they abated on the next day as the filling of the depression went on.

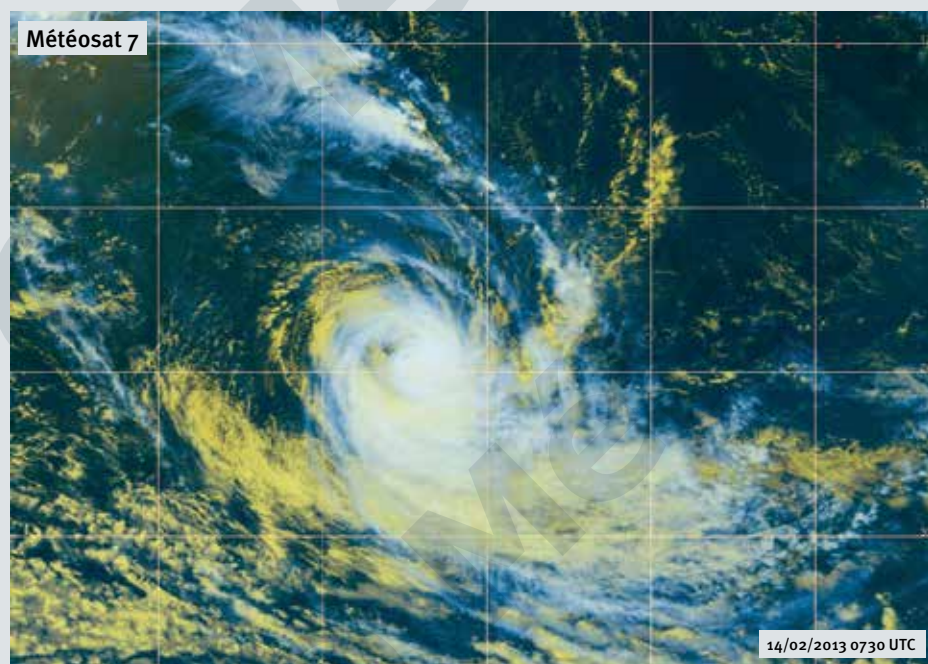
The convection had completely vanished and there remained only a vague elongated vortex of low and mid-level clouds, a poor reminiscence of what was still a mature tropical cyclone 48h earlier. With the subtropical ridge spreading to the south, the residual depression was forced back towards the north during the day of 16 February, then was caught up along the northern edge of the high within the trade wind flow on the next day, before slowly dissipating during the following days on the fringes of the tropical domain. A tropical cyclone for a little less than 24h, GINO described a rather classic track, with a pseudo-parabolic trajectory which maintained it in the middle of the Indian Ocean, far from inhabited lands.



Phase d'affaiblissement de GINO par cisaillement de nord-ouest. Un grand classique...



GINO's weakening phase by northwesterly windshear. A great classic...

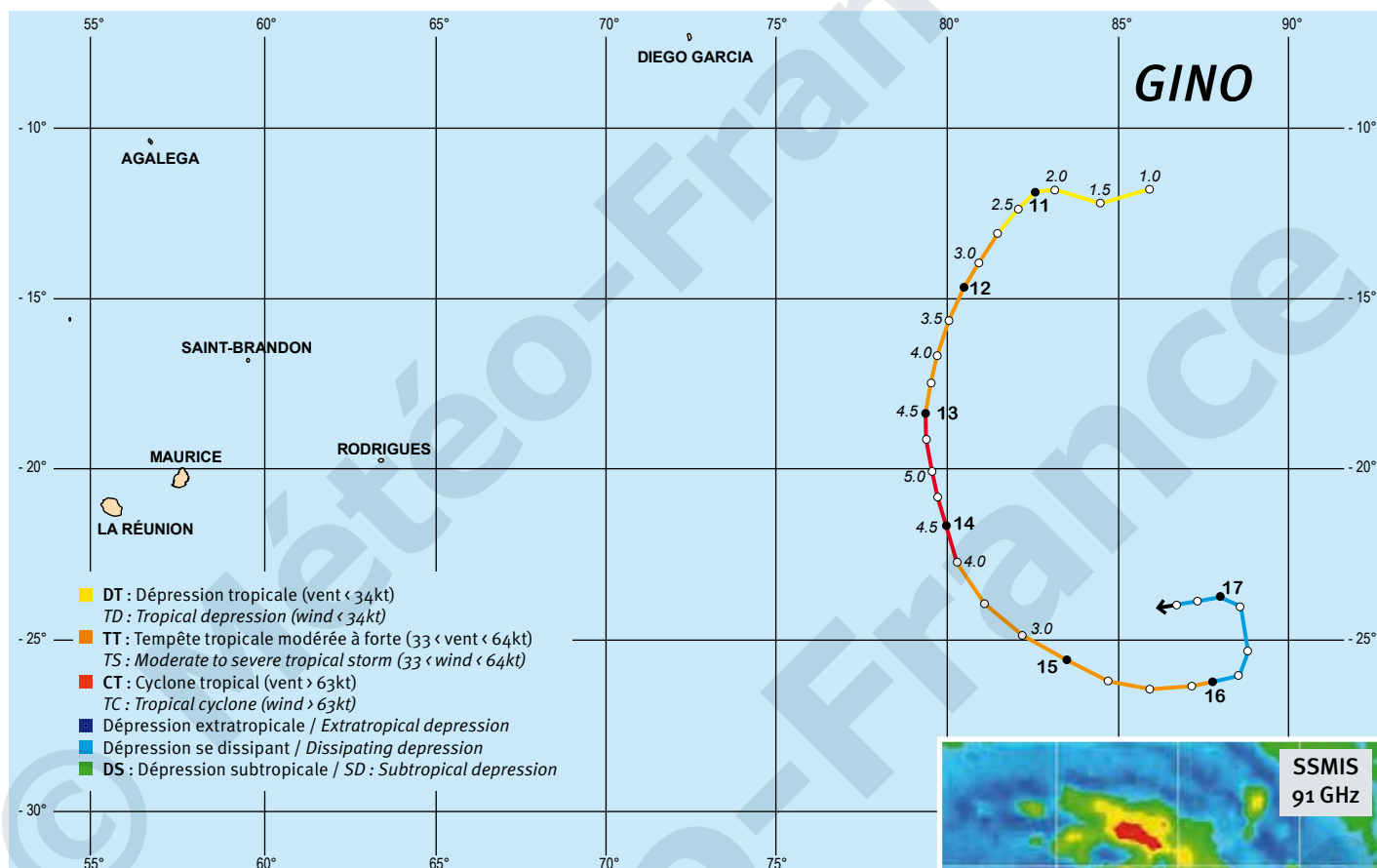


encore analysés par le radar diffusiomètre d'Oceansat. Ils mollissent cependant le lendemain avec la poursuite du comblement de la dépression.

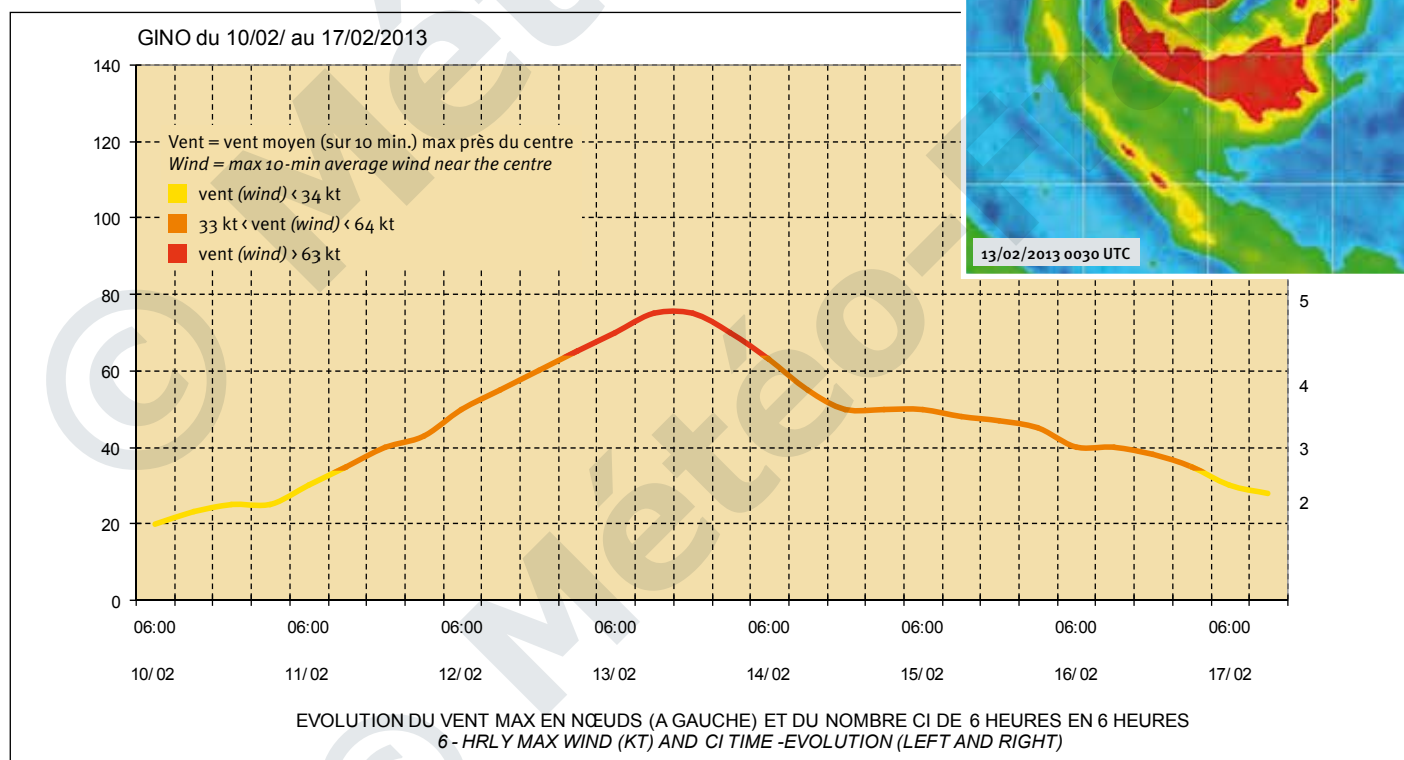
La convection a totalement disparu et ne subsiste plus qu'un vague tourbillon élongé de nuages bas et moyens, piètre réminiscence de ce qui constituait encore 48h plus tôt un cyclone tropical mature. Avec la dorsale subtropicale qui glisse au sud, la dépression résiduelle est repoussée vers le nord en cours de journée du 16, puis reprise le long de la bordure nord de ces hautes pressions par le flux d'alizé le lendemain, avant d'aller en se dissipant lentement les jours suivants aux marches du domaine tropical.

Cyclone tropical durant un peu plus de 24h, GINO aura suivi un parcours assez classique, empruntant une trajectoire pseudo-parabolique le maintenant au milieu de l'océan Indien, loin des terres habitées.





GINO vu par l'imagerie micro-onde, alors qu'il vient tout juste d'être classé au stade minimal de cyclone tropical.  
 GINO as portrayed by the microwave imagery while it has just been upgraded to the minimal stage of tropical cyclone.



# Haruna

## Cyclone Tropical du 14 au 28 février 2013

*Tropical Cyclone "Haruna" (14-28 February 2013)*



### FORMATION



Le 14 février 2013, tandis que le cyclone tropical GINO entame sa phase d'affaiblissement sur l'Est du bassin, de l'autre côté du Sud-Ouest de l'océan Indien, une activité nuageuse et convective notable est présente des côtes africaines jusqu'à Madagascar, barrant la partie centrale du Canal du Mozambique. Les petites lignes de courbure de nuages bas qui se dévoilent dans l'après-midi un peu au sud de l'activité convective principale (sise entre l'île de Juan de Nova et la côte malgache), mettent en évidence l'existence vers 20°Sud/42°Est d'un minimum de basses pressions associé à cette zone de temps perturbé. Bien que celle-ci n'ait pas de quoi inquiéter outre mesure à ce stade, au regard de son degré d'organisation plus que rudimentaire, elle fait néanmoins l'objet d'une étroite surveillance de la part des prévisionnistes cyclone du CMRS de La Réunion.

Ce qui lui vaut cette attention toute particulière, c'est d'être considérée comme hautement suspecte au vu des prévisions des modèles numériques, qui ont commencé à tirer la sonnette d'alarme depuis déjà plusieurs jours. Dès le 10 février, en effet, la prévision d'ensemble du modèle du CEP (Centre Européen de Prévisions) indiquait un signal de cyclogenèse dans le Canal du Mozambique, pour la période autour du 20 février (le produit du CEP fournissant en fait une probabilité sur une période de 48h centrée autour de la date d'échéance). Il s'agissait là d'une prévision à très longue échéance, à 240h (10 jours), et donc sujette à caution. Mais comme les prévisions successives du modèle n'ont fait ensuite que confirmer

et accentuer ce signal de cyclogenèse initial, le degré de confiance dans cette prévision a été crescendo au cours des jours suivants.

Ainsi, la prévision issue du run du 15 à 00 utc persiste et signe, avec une probabilité désormais supérieure à 80%, ciblant toujours avec la même constance le créneau autour du 20 février. Le modèle déterministe quant à lui, analyse correctement le minimum dépressionnaire (estimé à 1005 hPa ce 15 février) et le dirige globalement vers le nord durant les 36h suivantes, puis prévoit qu'il rebrousse chemin aux abords de la côte mozambicaine, pour faire ensuite route sur un cap sud à sud-est, ne commençant de le creuser qu'à partir de ce moment-là. Ces prévisions vont s'avérer formidablement exactes, constituant un nouvel exemple, particulièrement édifiant celui-là (considérant le délai d'anticipation remarquable), des progrès stupéfiants démontrés ces dernières années par les modèles numériques en matière de prévision de cyclogenèse.

Le minimum dépressionnaire transite au nord de l'île d'Europa en matinée de ce 15 février, puis commence effectivement à remonter en direction du nord-ouest, demeurant plus ou moins exposé en marge de la convection, qui reste cantonnée à l'est et au nord-est, i.e. au sein de l'alimentation de mousson humide et instable, propice au développement chaotique d'amas pluvio-orageux, temporairement assez virulents en fins de nuits et débuts de journées (au moment du pic d'activité du cycle diurne). Dans l'après-midi du 16, le minimum, estimé maintenant à 1003 hPa, touche terre au nord de la province de Quelimane et devient rapidement indiscernable. Fin de l'histoire ? (n'ayant en fait pas encore réellement commencé...). Non, simple prélude.

Car au matin du 17, on retrouve, sur le champ de vents diffusiométriques dérivé de l'orbite Ascat, une large circulation dépressionnaire entre la côte mozambicaine et Juan de Nova, dont tout laisse à penser qu'elle correspond à la continuité du minimum suivi jusque là, qui serait donc ressorti assez rapidement en mer, tout en incurvant sa course vers l'est, puis le sud-est. Centrée légèrement à l'est du 40<sup>ème</sup> méridien Est, cette zone dépressionnaire assez molle, associée à une vaste étendue elliptique de vents faibles à l'intérieur (faisant quelque 400 km dans son grand axe sud-ouest/nord-est), est entourée d'une couronne partielle de vents nettement plus soutenus (de 15/20 nœuds en moyenne, mais atteignant localement 25 nœuds), toujours associée à la solide descente de mousson. Mais l'élément nouveau, qui a son importance pour la suite, c'est que ce flux de mousson n'est plus tout seul, venant converger avec l'alizé, auparavant inexistant et qui est de retour, suite à la reconstruction de la dorsale subtropicale au sud du Canal.

La configuration alors affichée en journée de ce 17 février, est typiquement celle d'une dépression de mousson occupant tout le Canal du Mozambique. Toute la question est maintenant de savoir si cette dépression de mousson a un avenir, i.e. si elle peut se transformer en système dépressionnaire classique... Les modèles numériques laissent à penser que oui, creusant et développant régulièrement ce système, qui est appelé à bénéficier, il est vrai, d'une situation se présentant sous des auspices clairement très favorables en altitude, sous une cellule de hauts géopotentiels, procurant un environnement faiblement cisaillé et une bonne divergence d'altitude. Mais l'évolution va être encore plus rapide qu'anticipée, l'arrivée sur des eaux à haut potentiel énergétique, avec des températures de surface de la mer supérieures à 30°C, n'étant peut-être pas étrangère à cet "emballement" thermodynamique.

### EVOLUTION

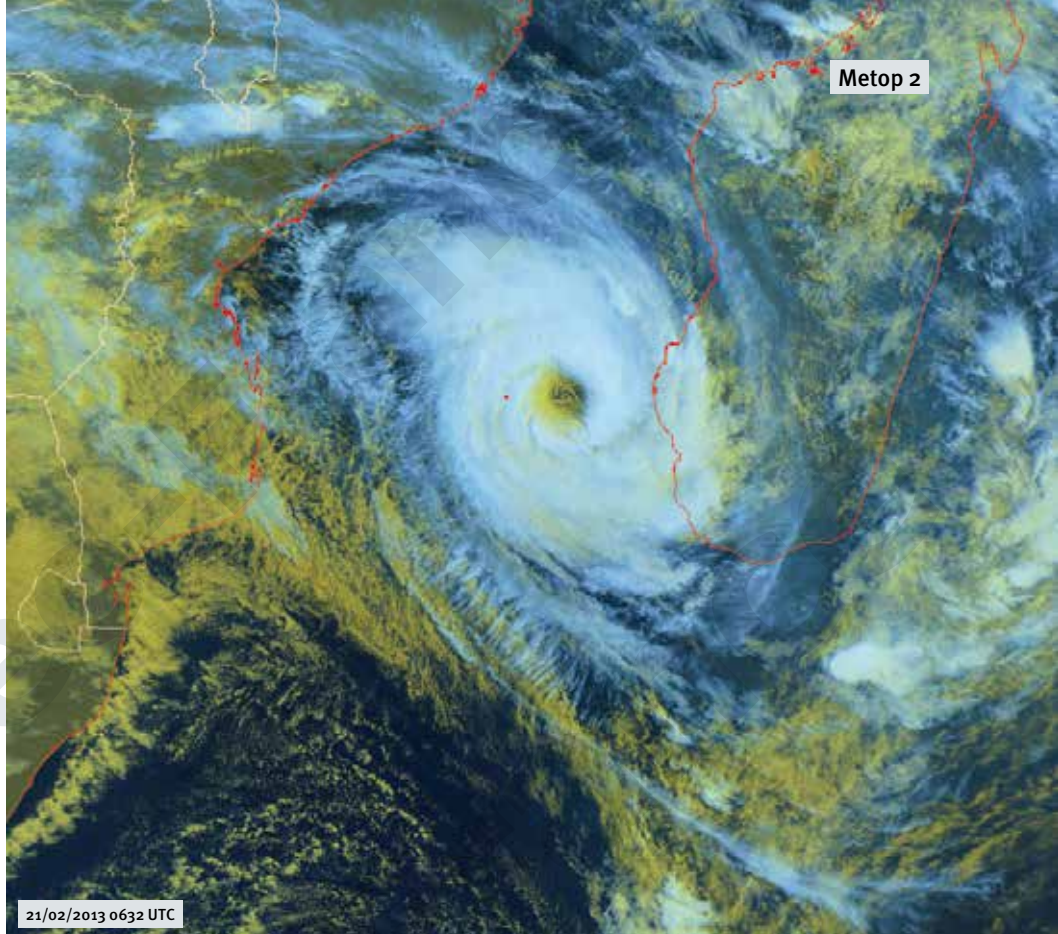
A l'aube du 18 février, on constate une forte poussée d'activité convective, toujours prioritairement concentrée dans le demi-cercle est de la dépression, tandis que le champ de pression est globalement en baisse (- 2 hPa par



rapport à la veille observés en milieu de journée, tant à Juan de Nova qu'à Europa). Le creusement est lancé et va se poursuivre. Les courbures nuageuses affichées en journée par les bandes convectives, beaucoup plus affirmées que la veille, confirment d'ailleurs sans ambiguïté l'augmentation de la vorticité. Elles permettent, en outre, de localiser plus précisément le centre de la circulation de basses couches, même si celui-ci n'est toujours pas clairement défini sur l'imagerie satellitaire. Plus pour longtemps cependant, car la structuration en cours du système nuageux franchit une étape décisive la nuit suivante, qui voit la construction d'un vortex de basses couches, certes encore assez fruste et mal dégrossi, autour du centre de ce qui est désormais déclaré comme la dépression tropicale n 09. Des vents de la force du grand frais sont, en effet, présents sur plus de la moitié de la circulation dépressionnaire (dans ses secteurs est à sud), ce qui justifie ce classement, bien que l'analyse d'intensité Dvorak ne soit pas au même niveau, accusant un retard somme toute logique, pour un système partant d'une structure initiale de dépression de mousson.

En fin de nuit du 18 au 19, le minimum dépressionnaire, maintenant estimé à 996 hPa, traverse à nouveau le 20 me parallèle Sud, cette fois-ci en direction du sud, et repasse dans la foulée sur la position occupée quelque 104h auparavant (dans la nuit du 14 au 15 février), quand il était encore en tout début de vie, "bouclant ainsi la boucle" après avoir effectué un large looping de plus de 4 jours au cœur du canal du Mozambique.

La suite de la trajectoire, jusque là très incertaine, semble se clarifier quelque peu. La veille encore (le 18), les modèles numériques proposaient des scenarii très divergents : alors que les modèles européens sugg raient une trajectoire européenne, avec un déplacement très lent globalement vers le sud, le modèle américain GFDL prévoyait pour sa part un recourbement vers l'ouest puis le nord-ouest, sous l'influence dominante de la dorsale de moyenne troposphère s'installant sur l'Afrique australe, tandis qu'un autre modèle américain (GFS), proposait une trajectoire totalement contradictoire, puisque globalement orientée vers le sud, puis le sud-est, et passant ainsi au sud de Madagascar, avant de s'évacuer ultérieurement dans le domaine extratropical. Les divers modèles disponibles semblent maintenant s'accorder sur une option plus consensuelle dans leur nouvelle mouture.



Le cyclone tropical HARUNA dans le Canal de Mozambique, entre l' le d'Europa et Madagascar. Le météore est depuis quelques heures au maximum de son intensité, bénéficiant en particulier d'une très bonne divergence d'altitude. L'œil est très large (plus de 125 km de diamètre) et surtout remarquable de part sa structure interne, les nuages bas présents au fond de l'œil dessinant des formes semi-géométriques particulières, caractéristiques de la présence de méso-vortex (voir détails sur image au dos de la couverture et page 80).

*Tropical cyclone HARUNA in the Mozambique Channel, between Europa Island and Madagascar. The meteor had reached its maximum of intensity since a few hours, benefiting in particular from a very good upper divergence. The eye was quite large (more than 125 km in diameter) and above all remarkable for its inner structure, as peculiar semi-geometrical figures were outlined by the low clouds that were present at the bottom of the eye (see details on image of back cover and page 80).*

## FORMATION

On 14 February, while tropical cyclone GINO was beginning its weakening phase over the eastern portion of the basin, on the other side of the South-West Indian Ocean, a notable cloud and convective activity was present from the African seaboard to Madagascar, across the central part of the Mozambique Channel. The small lines of low cloud curvatures that were unveiled in the afternoon a little to the south of the main convective activity (situated between Juan de Nova Island and the Malagasy coast), revealed the presence around 20 South/42 East of a weak low associated with that zone of disturbed weather. Although the latter was nothing to worry about inordinately at that stage, considering its more than rudimentary degree of organization, it was nonetheless closely monitored by the cyclone forecasters of La Reunion RSMC. The particular attention that was paid to it was due to the fact that it was considered as highly suspect in view of the forecasts of the numerical models, which had already begun to set off the alarm for several days.

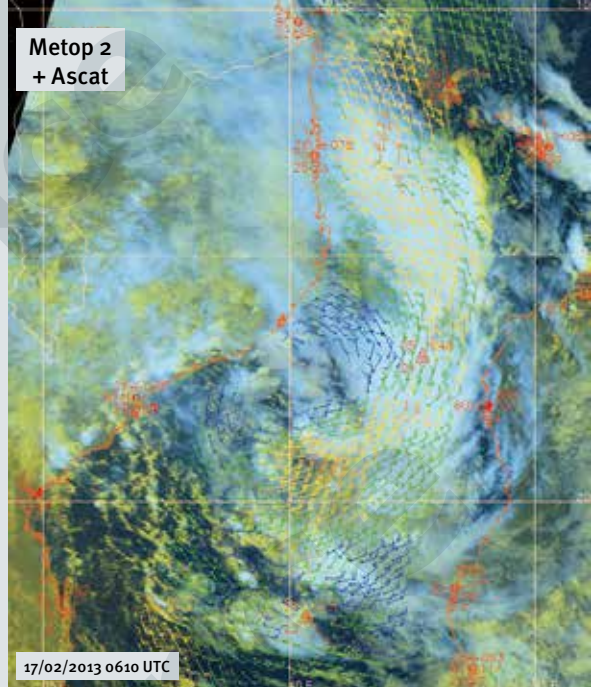
As early as 10 February, actually, the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (EC) indicated a cyclogenesis signal in the Mozambique Channel, for the period around 20 February (in fact the EC's product provides a probability over a period of 48h centred around the date for which the forecast is valid). It was a forecast in the very long term, at a 240h range (10 days), and therefore questionable. But as the successive forecasts of the model thereafter consistently reaffirmed and reinforced the initial cyclogenesis signal, the level of confidence in that forecast went on increasing during the following days. Thus, the forecast from the run of 15 February at 00 utc persevered in that prediction, emphasizing a probability of genesis now higher than 80%, while still targeting the slot around 20 February with the same steadfastness. As to the deterministic model, it correctly analysed the low (estimated at 1005 hPa on 15 February) and globally directed it towards the north during the ensuing 36h. Then it predicted that it would turn back when nearing the Mozambique coast, to thereafter



backtrack on a south to southeastward heading, only starting to deepen it from that moment onwards. Those predictions would prove to be tremendously correct, providing another example, particularly edifying in this case (considering the remarkable anticipation delay), of the stunning progress demonstrated these last few years by the numerical models as regards cyclogenesis forecasting. The low transited to the north of Europa Island in the morning of 15 February, then it indeed began to move northwestward, remaining more or less exposed on the edge of the convection, which was still confined to the east and northeast, i.e. within the moist and unstable monsoon supply, propitious to the chaotic development of thunderstorms cloud clusters temporarily rather vigorous towards the end of the night and the beginning of the day (at the time of the activity peak of the convective diurnal cycle). In the afternoon of 16 February, the low, then estimated at 1003 hPa, made landfall to the north of the Quelimane Province and soon became indistinguishable. End of the story (that had not yet really begun actually...)? In no way, it was nothing but a prelude. In the morning of 17 February, simply glancing at the scatterometer windfield derived from the Ascet swath, one could on the spot see evidence of a wide clockwise circulation lying between the Mozambique coast and Juan de Nova Island. There was every reason to believe that it corresponded to the continuity of the low monitored up to then, which would have rather rapidly gone back to sea, while bending its trajectory towards the east and then the southeast. Centred slightly to the east of longitude 40° East, that rather slack low pressure area, associated with an elliptically shaped extensive zone of weak winds inside (measuring some 400 km in its southwest/northeast wider axis), was surrounded with a partial crown of stronger winds (of 15/20 knots on average, but reaching 25 knots locally), still associated with the vigorous monsoon flow. But the new element, which would subsequently be a matter of some importance, was that the monsoon flow was no longer alone, as it was converging with the trade winds, non-existent up to then and which were back, following the rebuilding of the subtropical ridge to the south of the Channel. The configuration which was then displayed during the day of 17 February, was typically that of a monsoon depression occupying the entire Mozambique Channel. The question then was to know if that monsoon depression had a future, i.e. if it could turn into a classic tropical

**Pré-genèse du futur HARUNA.** Une large zone de basses pressions assez molle est identifiable entre la côte mozambicaine et l'île de Juan de Nova. Les données diffusiométriques Ascet permettent de bien préciser la situation et l'évolution en cours au niveau du champ de vents en surface. On constate, en particulier, que le flux d'alizé présent au sud de l'île d'Europa et qui gagne depuis le Sud du Canal, est sur le point d'entrer en contact et de converger avec le flux de mousson très actif présent dans le secteur est à sud de la circulation dépressionnaire embryonnaire. Une étape décisive dans le processus de cyclogenèse à venir (qui sera achevé 48h plus tard).

**Pre-genesis of-to-become HARUNA.** A broad and slack area of low pressure was lying between the Mozambican seaboard and Juan de Nova Island. The data derived from the Ascet scatterometer enabled to get a clear image of the current state of the surface windfield and of the ongoing evolution. One could notice, in particular, that the trade winds existing south of Europa Island and that were surging from the southern Mozambique Channel, were about to connect and converge with the very active monsoon flow present in the eastern and southern sectors of the embryonic low circulation. A decisive step for the cyclogenesis process to come (that will be achieved 48h later).



low-pressure system... The numerical models suggested that it could, as they steadily deepened and developed the system, which was likely to benefit, for sure, from a clearly much more promising and favourable situation at upper levels, under a cell of high potentials, providing a weakly sheared environment and a good upper divergence. In reality, the evolution was to be faster than expected. The arrival on waters with a high oceanic heat content, with surface temperatures above 30°C, had probably something to do with the boosting of that thermodynamic shooting off.

## EVOLUTION

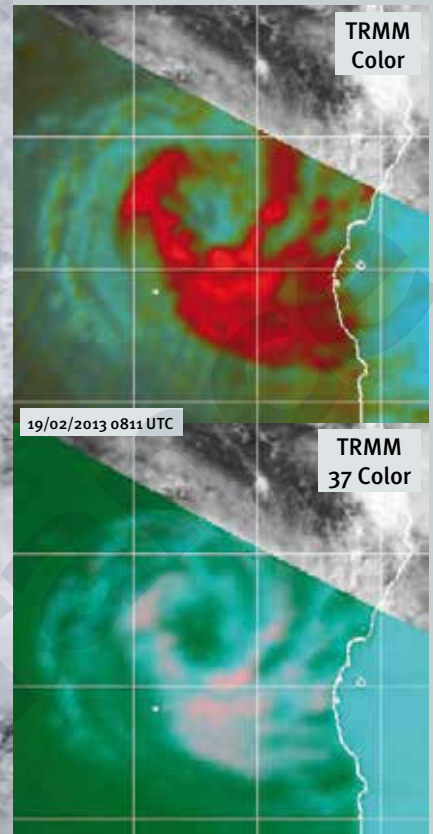
At dawn on 18 February, a vigorous outburst of convective activity could be noticed, still primarily concentrated in the eastern semi-circle of the low circulation, while a global fall of the pressure field was noticed (- 2 hPa compared to the day before, observed around midday, both in Juan de Nova and in Europa). The deepening process was launched and would continue. Moreover the enhanced cloud curvatures displayed during the day by the convective bands, much more evident than the day before, confirmed unambiguously that the vorticity was increasing. Besides, they made it possible to localize with greater precision the centre of the low-level circulation, even though the latter was still not clearly defined on the satellite imagery. Not for long though, as the ongoing structuring of the cloud system reached a decisive stage during the ensuing night when a low-level vortex, still rather crude and coarse, built around the centre of what was henceforth declared tropical depression n°09.

La philosophie de prévision ainsi quasi unanimement adoptée, envisage la poursuite d'un déplacement assez lent vers le sud dans un premier temps, en direction d'une faiblesse dans le champ de pressions (un col barométrique en moyenne troposphère au sud du Canal du Mozambique), puis un changement de cap en direction de l'est ou du sud-est, en liaison avec le transit au sud de 30° Sud d'un large talweg frontal de moyenne troposphère. Si ce scénario venait à se vérifier, cela signifierait une menace potentielle pour le Sud-Ouest de Madagascar. Parmi le spectre de prévisions de trajectoires désormais proposées, des différences importantes subsistent malgré tout, en terme de cap et surtout de chronologie, ce qui n'est pas anodin. Car une vitesse de déplacement plus ou moins lente, peut impacter et modifier considérablement l'évolution en terme d'intensité ; un système amené à stationner sur place peut ainsi voir limitée, ou carrément stoppée, une intensification en cours, par rétro-action négative de l'océan (suite à un refroidissement accéléré des eaux de surface provoqué par le brassage turbulent). En début de journée du 19, le gain d'organisation se confirme, avec le développement d'une activité convective commençant de se focaliser au voisinage et autour du centre dépressionnaire. Une bande de convection se constitue ainsi dans le demi-cercle sud du vortex nuageux de basse troposphère apparu la nuit précédente. Cette dissymétrie est également présente au niveau du champ de vents : les vents les plus forts, qui génèrent maintenant du coup de vent, se situent du côté sud de la circulation dépressionnaire, comme le corrobore la fauchée Oceansat acquise



19/02/2013 0745 UTC

**HARUNA devient tempête tropicale modérée.** Une bande incurvée de convection s'est constituée, tandis que l'imagerie micro-onde montre qu'un cœur central assez large et encore grossièrement ébauché a commencé de se constituer.



**HARUNA when becoming a moderate tropical storm.** A convective curved band had just formed while the microwave imagery showed that a rather broad and still coarsely shaped inner core had started to build.

en milieu de journée, validant ainsi le bien fondé du baptême d'HARUNA intervenu préalablement en début de matinée. Héritage de la structure originelle de dépression de mousson, le rayon des vents maximaux demeure très large, faisant une centaine de km, en conformité avec la configuration nuageuse exhibée, tant sur les images en canal visible que micro-onde, qui montrent la présence, au cœur du météore, d'une vaste zone peu nuageuse (sous le voile de cirrus), aux contours très irréguliers. Mais tout cela tend à se réduire et se contracter, à mesure de la poursuite de l'intensification du phénomène. En soirée, le rayon des vents maximaux ne fait ainsi plus "que" 75 km et est dorénavant en phase avec la bande de convection, qui continue de s'enrouler sur elle même et est désormais proche de se refermer complètement. Nul besoin d'être grand clerc pour deviner que l'on va tout droit vers la formation d'un œil. En l'espace de 24h, l'évolution est saisissante (voir images page suivante) et surprenante de rapidité, s'agissant à la base d'une dépression de mousson, dont on sait qu'il est habituellement plus difficile, et donc généralement plus long, d'arriver

*Near gale force winds were actually present over more than half of the clockwise circulation (in its eastern to southern sectors), which justified that ranking, although the Dvorak intensity analysis was not at the same level, showing a logical delay after all, for a system that stemmed from the initial structure of a monsoon depression.*

*At the end of the night of 18 to 19 February, the low, then estimated at 996 hPa, crossed latitude 20°South again, this time toward the south, and went back straight afterwards across the position it had occupied some 104h before (in the night of 14 to 15 February), when it was still in its very early life-cycle, thus "looping the loop" after operating a wide loop of more than 4 days in the heart of the Mozambique Channel.*

*The trajectory to come, very uncertain up to then, seemed to become somewhat clearer now. Just the day before (18 February), the numerical models still proposed very divergent scenarios : whereas the European models suggested a very erratic track, with a very slow motion globally towards the south, the GFDN American model predicted a westward*

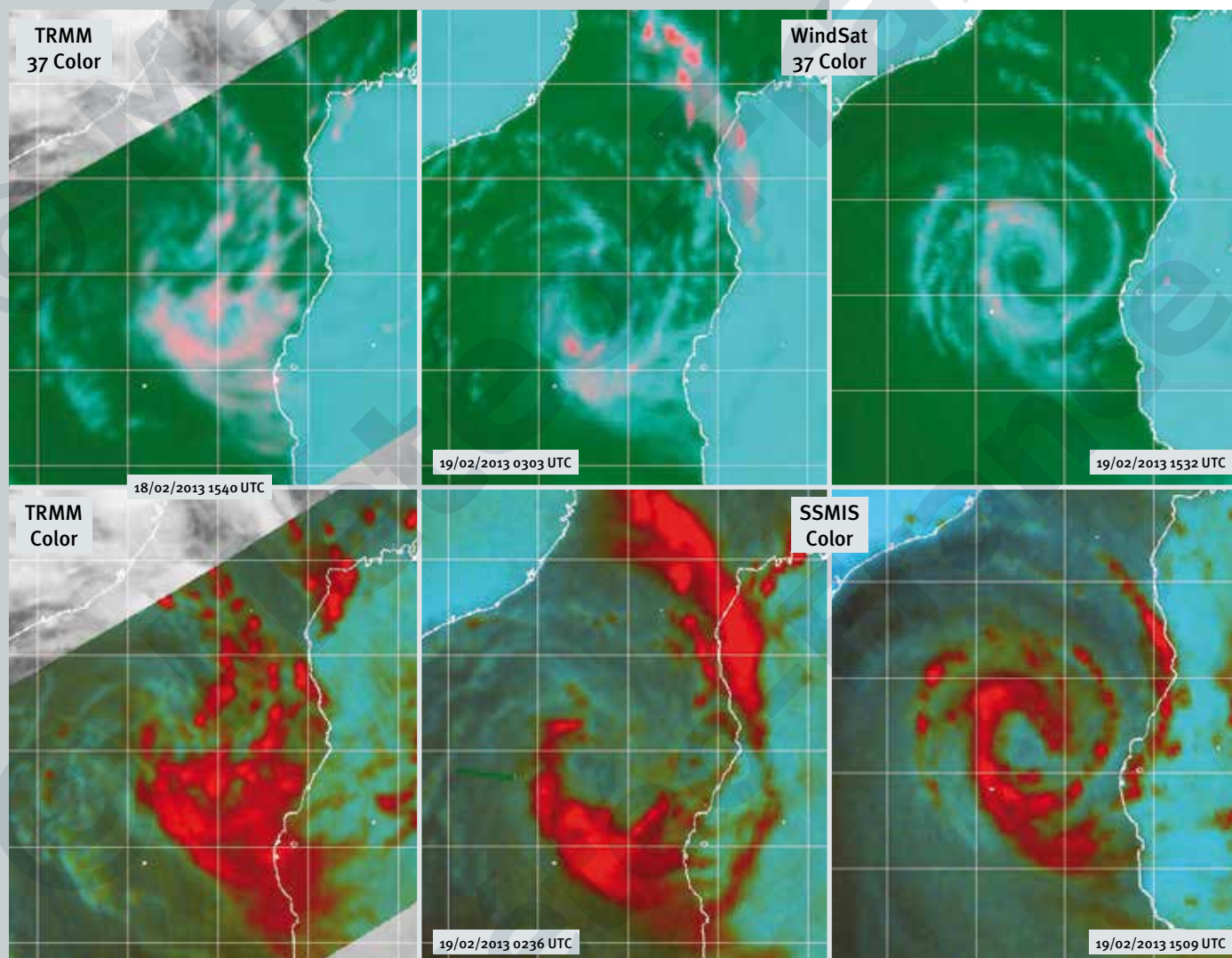
*then northwestward recurvature, under the prevailing influence of the mid troposphere ridge that was settling over austral Africa, whereas another American model (GFS), forecast a totally contradictory track, oriented in a southward then southeastward direction, thus passing to the south of Madagascar, before subsequently withdrawing into the extra-tropical domain. The various available models now seemed to agree on a more consensual option in their new versions. The forecast philosophy thus almost unanimously adopted, envisaged that the meteor would first go on moving south rather slowly, towards a weakness in the pressure field (a barometric col in mid-troposphere to the south of the Mozambique Channel), and then would change course towards the east or southeast, in connection with a large mid troposphere frontal trough transiting eastward to the south of latitude 30°South.*

*If that scenario were to be confirmed, it would mean a potential threat for the South-West of Madagascar. Among the spectrum of track forecasts henceforth proposed, there remained important*

differences in spite of everything, in terms of heading and above all of chronology, which was not insignificant. Because a more or less slow motion may impact considerably the evolution in terms of intensity and modify it; an ongoing intensification of a system led to come to a standstill may be limited or straight out stopped by the negative feedback of the ocean (with an accelerated cooling of the surface waters resulting from the turbulent mixing). In the early hours of 19 February, the gain in organization was confirmed, with the development of some convective activity that began to focus near and around the low centre. A band of convection thus built in the southern semi-circle of the

cloud vortex of lower troposphere that had appeared during the previous night. A dissymmetry in the cloud setting that was also present when assessing the windfield : the strongest winds, which generated gales then, were situated on the southern side of the clockwise circulation, as corroborated by the Oceansat swath acquired around midday, thus validating the justified naming of HARUNA that had taken place beforehand early in the morning. A legacy of the original structure of a monsoon depression, the radius of maximum winds remained very large, about a hundred km, a feature coherent with the exhibited cloud pattern, both on the visible channel and the microwave

à structurer le cœur primitivement inconsistent et amorphe. HARUNA a continué de se rapprocher lentement de l'île d'Europa, quasiment en ligne directe après la mi-journée, suite à une inflexion de sa trajectoire en direction du sud-sud-ouest. La pression baisse sur l'île, tandis que le vent fraîchit, y atteignant désormais la force du grand frais. Mais en fin d'après-midi, le météore cesse de se rapprocher, obliquant temporairement vers la gauche, avant de stationner quasiment sur place durant toute la nuit suivante (du 19 au 20 février). Engluée au nord du col barométrique, la tempête tropicale hésite sur la route à suivre et tourne en rond, à environ un degré (110 km) au nord-nord-est d'Europa, son centre



**Cyclogenèse et première phase d'intensification d'HARUNA.** Cette évolution sur 24h telle que vue par l'imagerie micro-onde, parle d'elle-même, même pour un non initié. Elle illustre mieux que n'importe quel discours la rapidité avec laquelle s'est organisé et structuré le cœur du météore, en particulier dans les basses couches de l'atmosphère (mieux appréhendées en canal 37 GHz) : partant d'un vague embryon de vortex autour du centre de la circulation dépressionnaire le 18, on se retrouve, 24h plus tard, avec un enroulement nuageux déjà très affirmé.

**HARUNA's cyclogenesis and first intensification phase.** That evolution over 24h as portrayed by the microwave imagery, is self-explanatory, even for the uninitiated. It illustrates better than any speech how fast the core of the meteor became organized and structured, in particular in the lower layers of the atmosphere (better apprehended on the 37 GHz channel): starting from a vague vortex in embryo around the centre of the clockwise circulation on 18 February, one ended up, 24h later, with an already very well shaped curved band.



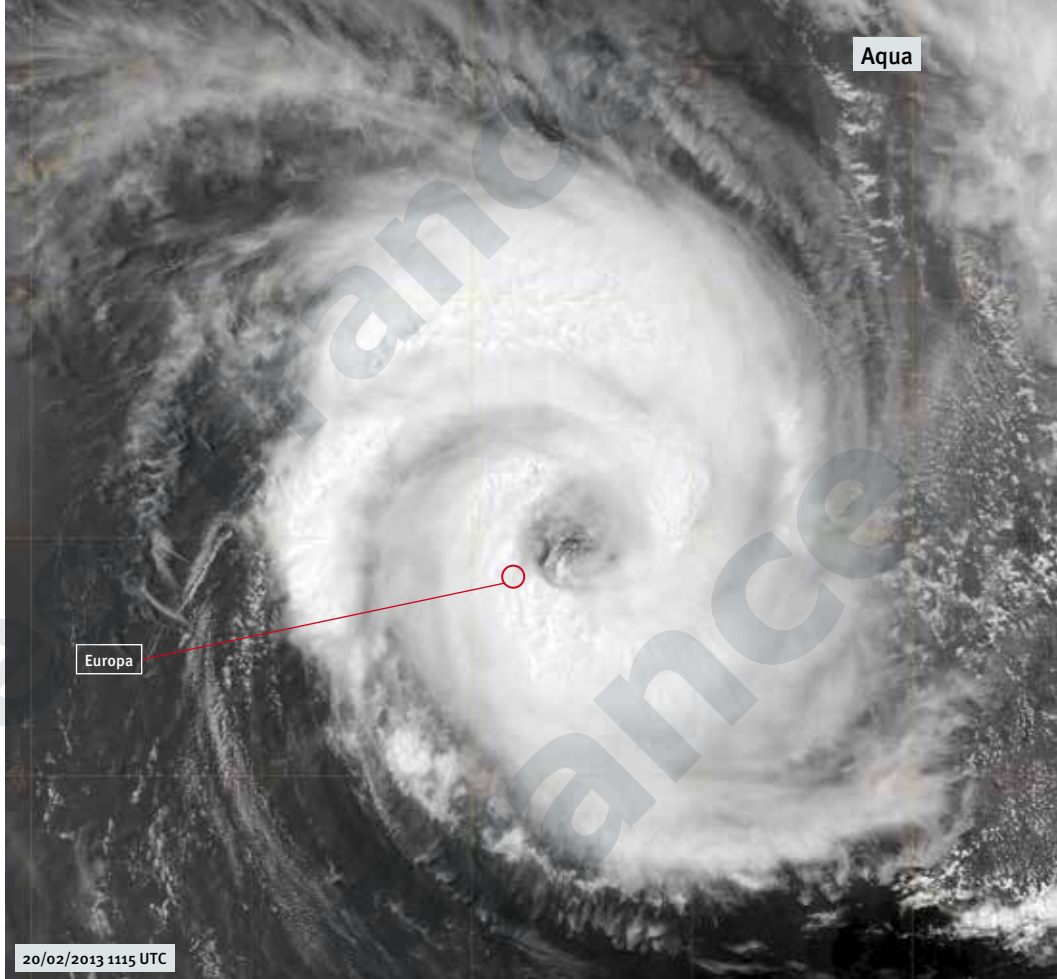
décrivant alors une pseudo-boucle dans le sens horaire (voir le zoom sur la carte de trajectoire page 85).

HARUNA aurait pu voir sa phase d'intensification affectée, voire compromise, par cette halte prolongée dans son déplacement, qui a dû inévitablement provoquer un refroidissement significatif de l'océan sous-jacent et donc une réduction de son alimentation énergétique. Mais il n'en est finalement rien, le niveau important du réservoir énergétique océanique dans ce secteur, ayant probablement permis d'amortir cet effet. Car le météore est visiblement passé outre cet aléa, puisqu'il a même été crédité d'un léger supplément d'intensité durant la nuit, qui lui a valu d'être promu au rang de forte tempête tropicale. Et au sortir de cette nuit du 19 au 20, le constat est que le processus d'intensification n'a pas été interrompu, mais seulement ralenti.

Il va désormais pouvoir reprendre de plus belle. Car HARUNA en a, en effet, terminé de cet intermède de valse-hésitation. Au matin du 20, sous l'influence de l'approche par le sud-ouest du Canal du talweg frontal précité, la neutralisation du flux directeur à la source du blocage antérieur cesse et la tempête se remet en mouvement, à 7-8 km/h, vers le sud. Bien que demeurant assez lent, ce déplacement est suffisant pour permettre au météore de retrouver rapidement des eaux chaudes, au potentiel énergétique non entamé pas le sur place d'HARUNA. Les conséquences ne se font pas attendre : l'intensification repart au triple galop et la journée du 20 marque une phase de développement rapide, se traduisant par un gain de près d'un point et demi en 12h sur l'échelle d'intensité de Dvorak. La divergence d'altitude, survoltée, apparaît comme le moteur principal de cette intensification accélérée, dopant spectaculairement le flux sortant d'altitude (voir image page 73).

Dès la matinée, l'œil en bande arboré sur l'imagerie micro-onde s'est refermé complètement sur lui-même, s'enroulant sur plus d'un tour désormais, tandis que l'œil, très imposant par la taille mais encore très grossièrement défini, apparut sur l'imagerie infrarouge en fin de nuit précédente (voir première image page 82), se consolide et se bonifie prestement sur l'imagerie classique, mais sans trop guère se contracter davantage, le rayon des vents maximaux se stabilisant à quelque 30 milles nautiques dès le courant de matinée.

C'est donc un œil de grande dimension qui se rapproche derechef de l'île d'Europa, cette fois-ci sans nouvel aléa de trajectoire dilatoire. Après avoir observé une phase de plateau la nuit précédente et jusqu'en début de journée, correspondant à la période où HARUNA est demeuré quasi-



20/02/2013 1115 UTC

**L'île d'Europa sous le mur de l'œil d'HARUNA.** Le météore, en cours d'intensification rapide, vient tout juste d'être classé au stade minimal de cyclone tropical. Le mur de l'œil apparaît encore en "chantier", i.e. en phase de construction, avec un œil en bande imparfaitement refermé et très inhomogène en terme d'activité convective. Un autre élément intéressant apparaît d'emblée clairement, grâce à la haute résolution (250 m) de l'imagerie du satellite Aqua : à l'intérieur de l'œil on distingue, sous le fin voile de cirrus, la présence de méso-vortex, dont un principal, accompagné d'un méso-vortex secondaire (en partie caché sous la partie occidentale du mur de l'œil), une configuration amenée à évoluer ensuite (voir image et commentaires plus détaillés page 80).

*Europa Island underneath HARUNA's eyewall. At the time, the meteor was undergoing a rapid intensification phase and had just been upgraded to the minimal stage of tropical cyclone. The eyewall still appeared as a "work in progress", e.g. in a building phase, with a banding eye non completely closed yet and looking very inhomogeneous in terms of convective activity. Another interesting feature, highlighted by the high resolution of the Aqua satellite imagery (250 m), attracts one's attention at once : underneath the thin veil of cirrus, one can clearly distinguish the presence of meso-vortices within the eye, namely a main one together with a secondary meso-vortex (partly hidden beneath the western part of the eyewall), a pattern that would be modified thereafter (see imagery and more detailed comments on page 80).*

*imagery, which showed the presence, within the core of the meteor, of a broad zone of scarce cloud activity (under the cirrus veil), delineated by a very irregular outline. But all this tended to narrow and shrink, as the intensification of the phenomenon went on. In the evening, the radius of maximum winds was thus "only" 75 km wide and was from then on in phase with the band of convection, which continued to wrap around itself and was henceforth about to close completely. No need to be an expert on the subject to guess that an eye was due to form. Within the space of 24h, the evolution was striking (see images opposite page) and amazingly fast, considering its inception as a monsoon depression, a kind of system generally deemed to be more difficult and therefore more lengthy to get structured, as starting with an originally flimsy and lifeless core.*

*HARUNA went on drawing slowly closer to Europa Island, almost in a straight*

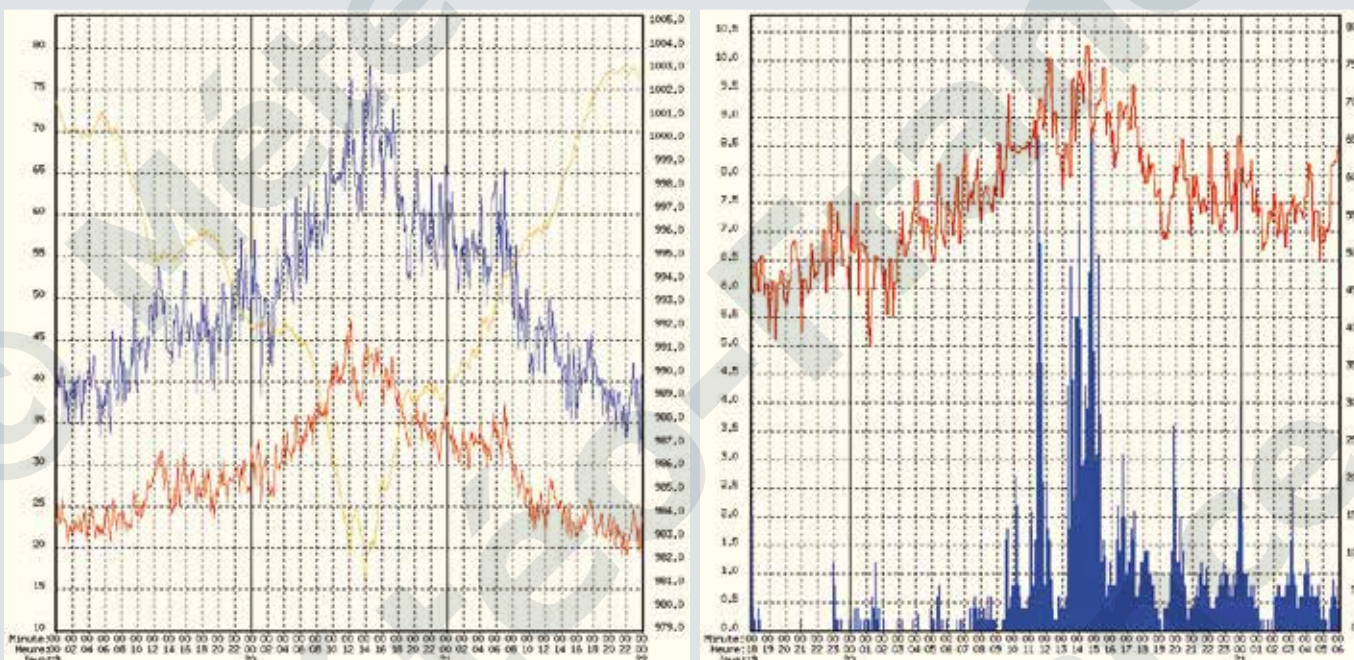
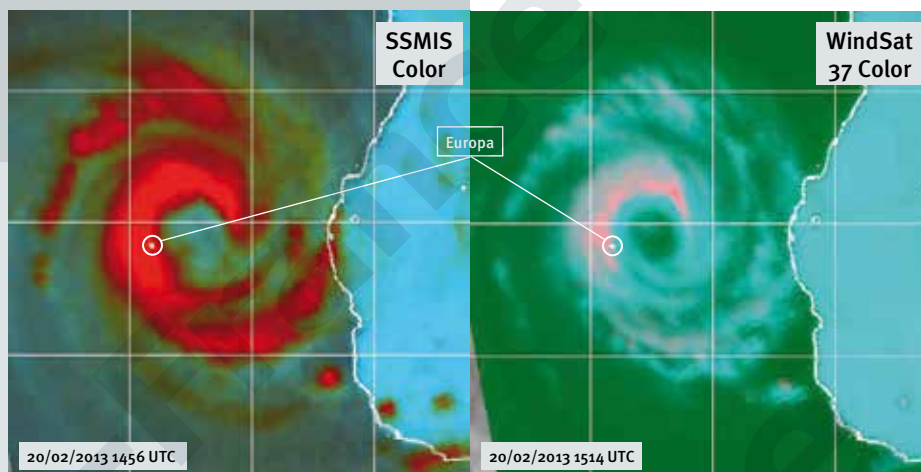
*line after midday, as a result of a south-southwestward deflection of its trajectory. The pressure fell in the island, while the wind freshened, henceforth blowing at near gale force. But towards the end of the afternoon, the meteor stopped getting closer, temporarily stepping aside to the left, before coming almost to a standstill, which lasted the whole ensuing night (from 19 to 20 February). Stuck to the north of the barometric col, the tropical storm hesitated as to which road to take and went round in circles, about one degree (110 km) to the north-northeast of Europa, its centre then describing a clockwise pseudo-loop (see zoom on track map page 85). HARUNA's intensification phase might have been affected, nay jeopardized, by that lengthy pause in its motion, which must have unavoidably caused a significant cooling down of the underlying ocean and therefore a reduction of its heat supply. But no such thing eventually*



**Evolutions du vent** (vent moyen sur 10 min et rafale maximale instantanée — en nœuds) **et de la pression mer** (graphe de gauche), ainsi que des précipitations 6 min (avec rafales superposées), observées par la station automatique de Météo-France basée sur l'île d'Europa, lors du passage à proximité du cyclone tropical HARUNA.

Des vents de la force du coup de vent ont sévi durant plus de 26h, avec une rafale maximale de 144 km/h, mesurée après le minimum absolu de pression enregistré par la station de 981.2 hPa (un peu avant 14 utc). Mais le pic de vent moyen (40.1 m/s, soit 78 nœuds), était intervenu préalablement, au moment d'un premier minimum relatif de pression, 2h plus tôt.

Le pic d'intensité pluvieuse (près de 10 mm en 6 minutes) a correspondu au pic de vent (en tout cas à la rafale maximale absolue mesurée) et au moment où le rayon des vents maximaux et le centre d'HARUNA passaient au plus près de l'île. Le déplacement lent du météore a fait que l'épisode pluvieux a duré un peu plus de 60h au total à Europa, cumulant 350 mm de précipitations (dont 307 mm en 24h, 229 mm en 12h et 111 mm en 3h). La hauteur de précipitations quotidienne de 281 mm relevée le 20 février, constitue la deuxième plus forte valeur depuis 1951 (derrière la valeur record de 437 mm du 24 décembre 1966, observée lors du passage du cyclone DAPHNE à proximité nord – 652 mm en deux jours si l'on rajoute les pluies tombées la veille).



**Evolution of the wind** (maximum 10-min average wind and maximum instantaneous gust — in knots) **together with the sea-level pressure** (graph on the left), **and of the 6-min rainfall amounts** (with superimposed gusts), observed by the Météo-France automatic weather station based on Europa Island, during the close passage of tropical cyclone HARUNA.

Gale force winds blew for more than 26h, with a maximum recorded peak gust of 144 km/h, measured after the absolute minimum of pressure recorded by the station of 981.2 hPa (a little before 14 utc). But the average wind maximum (40.1 m/s, that is 78 knots), had occurred beforehand, at the same time as a first relative minimum of pressure, 2h earlier.

The rain intensity peak (almost 10 mm in 6 minutes) corresponded to the wind peak (in any case to the recorded maximum absolute gust) and to the moment when the radius of maximum winds and HARUNA's centre were at their closest to the island. As a direct consequence of the slow motion of the meteor, the rain episode lasted a little more than 60h all in all in Europa, amounting to 350 mm of rainfall for the whole event (of which 307 mm fell in 24h, 229 mm in 12h and 111 mm in 3h). The daily precipitation amount of 281 mm recorded on 20 February, ranked as the second highest value since 1951 (behind the record value of 437 mm on 24 December 1966, observed during the passage of cyclone DAPHNE nearby to the north – cumulating 652 mm in two days if one adds the rainfall of the day before).

occurred, as the high level of ocean heat content in that sector had probably contributed to alleviate that effect. Indeed the meteor obviously overcame that hazard, since it was even granted a slight gain of intensity during the night, which warranted it to be upgraded to the severe tropical storm stage. And after that night of 19 to 20 February, the acknowledged fact was that the intensification process had not been halted, but only slowed down. It was henceforth going to resume, more intensely than ever. HARUNA had indeed finished with that shilly-shallying interlude. In the morning of 20 February, under the influence of the aforementioned

frontal trough that was approaching from the southwest of the Mozambique Channel, the neutralization of the steering flow causative of the previous blocking situation came to an end and the storm resumed its motion, at 7-8 km/h, towards the south. Despite this rather slow pace, the drift was enough to enable the meteor to recover warm waters whose heat content had not been worn down by HARUNA's standstill. The consequences did not take long to show : a second bout of hurdling development was triggered and the day of 20 February marked a rapid intensification phase, resulting in a gain of almost one and a half point in 12h on

stationnaire, la pression est en chute et le temps se dégrade sur l'île. Les vents de sud se renforcent et soufflent en tempête dans l'après-midi de ce 20 février (N.B. : la station automatique de Météo-France n'a mesuré que des vents moyens sur 10-min maximaux à la limite de la force tempête – voir graphe ci-dessus –, mais étant située au nord de l'île, i.e. dans la zone sous le vent de l'île et de sa végétation, les vents moyens qui y étaient mesurés étaient très certainement atténués par leur trajet préalable sur l'île – se traduisant en outre, du fait de la rugosité accrue, par un facteur de rafale de 1.65 entre le vent moyen maximal sur 10 min et la rafale



maximale observés). HARUNA est estimé franchir le seuil du stade minimal de cyclone tropical au même moment.

Après une remontée temporaire de la pression enregistrée par le baromètre de la station d'Europa, probablement liée à une oscillation trochoïdale au niveau de la trajectoire, le minimum absolu de pression observé (981 hPa) survient un peu avant 14 utc (voir graphe page opposée). La rafale maximale absolue de près de 78 nœuds (40.1 m/s, soit 144 km/h) est mesurée dans la foulée. Le centre d'HARUNA est alors au plus près d'Europa, à un peu moins de 40 nautiques dans l'est-nord-est (environ 73 km). L'île se retrouve donc très proche du rayon des vents maximaux, mais pas tout à fait dessous cependant (si l'évaluation de ce dernier est bien correcte). Cette proximité se traduit toutefois par un pic d'intensité pluvieuse, avec plus de 56 mm recueillis en une heure.

HARUNA commence ensuite à s'éloigner, très lentement. Le cyclone a, en effet, amorcé depuis quelques heures un virage vers la gauche, qui se confirme et se fait plus prononcé en fin de journée et soirée. Ce recourbement de la trajectoire vers l'est s'opère à toute petite vitesse. Car le déplacement, qui n'était déjà pas très rapide (6-7 km/h tout au long de cette journée du 20 février), s'est encore ralenti et jusqu'en matinée du 21 la progression va se maintenir à 3-4 km/h seulement. Un vrai train de sénateur. D'autant que si le cheminement se fait à pas comptés, le port est de plus en plus altier. En tout cas sur l'imagerie classique infrarouge et visible, qui montre une structure à œil en amélioration (œil plus régulier et sommets nuageux environnants plus froids), avec un cyclone dont l'allure en impose au matin du 21, la présence remarquée de plusieurs méso-vortex à l'intérieur de l'œil participant de cette belle prestance (voir image et détails page suivante).

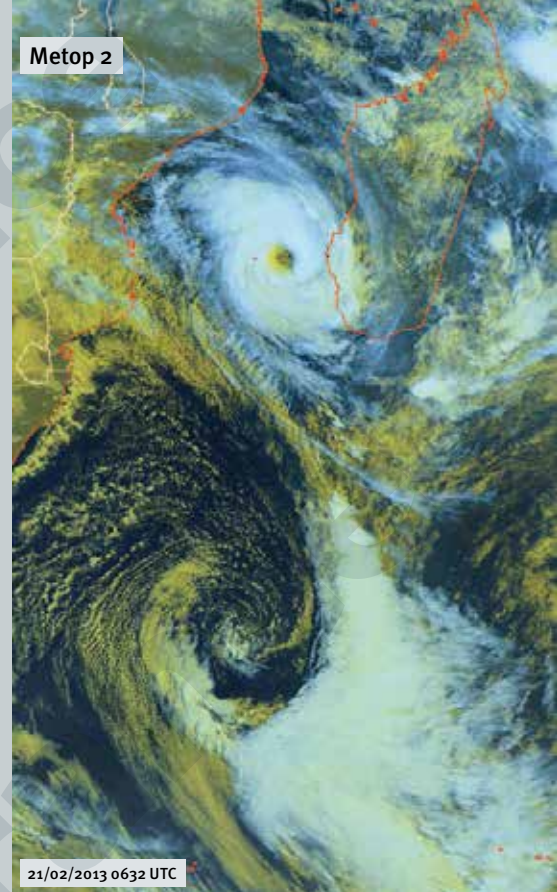
L'impression laissée par l'imagerie micro-onde est toutefois plus mitigée, avec une structure qui apparaît fluctuante et moins robuste, avec un mur de l'œil qui se présente sous la forme d'un anneau tantôt solidement constitué, tantôt incomplet, plus ou moins entaillé voire carrément ouvert (comme en soirée du 20), avec une faiblesse revenant de manière récurrente sur son flanc est à sud-est. Cette évolution incertaine, passant par des hauts et des bas, va perdurer jusqu'au moment de l'atterrissage sur la côte malgache et incite à conjecturer que l'intensité du phénomène est demeurée peu ou prou relativement stable dans l'intervalle (correspondant à une période assez longue, puisque durant tout de même une trentaine d'heures).

*the Dvorak intensity scale. The frenzied upper divergence appeared to be the main driving force of that accelerated intensification, boosting the upper outflow in a spectacular way (see image page 73).*

*As early as the morning, the banding eye exhibited on the microwave imagery had completely closed, henceforth wrapping round itself more than one tour, whereas the eye, of very impressive size but still very coarsely defined, that had emerged on the infrared imagery at the end of the previous night (see first image page 82), swiftly consolidated and improved on the classic imagery, but without shrinking any more, as the radius of maximum winds was soon settled at some 30 nautical miles in the morning.*

*It was therefore a very wide eye that was once again drawing nearer to Europa Island, this time without any new delaying vagary of trajectory. After levelling off during the previous night and until early morning, a plateau phase which corresponded to the period when HARUNA had remained almost stationary, the pressure dropped rapidly and the weather conditions worsened on the island.*

*The southerly winds strengthened and reached storm force during the afternoon of 20 February (N.B. : the Meteo-France automatic weather station only recorded maximum 10-mn average winds borderline of storm force – see graph opposite –, but as it is situated in the north side of the island, i.e. in the leeward area of the island and of its vegetation, the average winds that were recorded there were very likely mitigated by their prior island overflight – which furthermore resulted, in consequence of the enhanced roughness, in a gust factor of 1.65 between the maximum 10-mn average winds and the peak gust observed). It was estimated that HARUNA had reached the minimal stage of tropical cyclone at the same time. After a temporary rise of the pressure recorded by the barometer of the Europa station, probably related to a trochoidal oscillation of the trajectory, the absolute minimum of pressure observed (981 hPa) was measured a little before 14 utc (see graph on opposite page). The absolute maximum gust of almost 78 knots (40.1 m/s, that is 144 km/h) was recorded straight afterwards. HARUNA's centre was then nearest to Europa, a little less than 40 nautical miles to the east-northeast (about 73 km). Consequently the island found itself very close to the radius of maximum winds, but not quite under it however (if the evaluation of the latter was correct). That immediate proximity nevertheless resulted in a rain*



**Magnifique duo de perturbations sur l'extrême sud-ouest de l'océan Indien.** Comme se "tenant par la main", figurent, au sud, une perturbation frontale dans le domaine subtropical et, au nord, le cyclone tropical HARUNA dans le Canal de Mozambique, entre l'île d'Europa et le Sud-Ouest de Madagascar.

**A wonderful duet of disturbances over the far southwestern portion of the Indian Ocean.** Like "holding hands", two different systems feature on this image : a frontal disturbance in the subtropical domain to the south and tropical cyclone HARUNA to the north, in the Mozambique Channel between Europa Island and the South-West of Madagascar.

*intensity peak, with more than 56 mm recorded in one hour.*

*Then HARUNA began to edge away, very slowly. The cyclone had actually started taking a sweep to the left a few hours before, a turn that was confirmed and became more pronounced at the end of the day and in the evening. That bending of the trajectory towards the east took place at a very slow speed. Because the motion, that was not very fast as it was (6-7 km/h during the whole day of 20 February), had even more slowed down and until the morning of 21 February it was maintained at 3-4 km/h only. The meteor was strutting along like a Lord! All the more so as, while it was progressing with measured steps, its majestic aspect was more and more conspicuous. In any case on the classic infrared and visible imagery, which exhibited an improving eye structure (better defined and surrounded by colder cloud tops), with a cyclone which looked imposing in the morning of 21 February, the notable presence of several meso-vortices inside the eye contributing to that impressive appearance (see image and details on next page).*



Terra  
Modis

21/02/2013 0735 UTC

**Méso-vortex dans l'œil du cyclone HARUNA.** Cette image haute résolution (250 m) du satellite Terra permet d'accéder avec une grande finesse aux détails de la structure interne de l'œil et des nuages bas présents à l'intérieur. Elle montre l'existence, à ce moment-là, de quatre méso-vortex au sein de l'œil. Des structures polygonales de ce type sont régulièrement observées au cœur des cyclones tropicaux. Elles sont généralement le signe d'un phénomène en "bonne santé" (i.e. maintenant son intensité ou s'intensifiant), au sein duquel libération de chaleur latente par la convection et vorticité dans le mur de l'œil sont bien en phase, procurant une production efficace de tourbillon potentiel. Quand le profil de vent devient de plus en plus pentu, cela génère de l'instabilité barotrope au niveau du mur de l'œil, à l'origine de la formation de ces méso-vortex qui migrent ensuite dans l'œil, en nombre plus ou moins grand. Une configuration à 3 ou 4 méso-vortex est généralement associée à un mur de l'œil relativement large, tandis que des murs de l'œil plus éétriqués (correspondant à des pics de vent plus aigus) produisent une instabilité avec des nombres d'onde plus élevés (résultant en des structures hexagonales par exemple).

*Meso-vortices within cyclone HARUNA's eye. This high-resolution image (250 m) from satellite Terra enables one to have access, with great depiction, to the details of the inner structure of the eye and of the low-level clouds inside it. It showed the presence, at that very moment, of four meso-vortices within the eye. Polygonal structures of this kind are regularly observed in the core of tropical cyclones. Generally they are a sign of a "healthy" phenomenon (i.e. maintaining its intensity or intensifying), within which the release of latent convective heating and the vorticity in the eyewall are collocated well, providing an efficient production of potential vorticity. When the wind profile becomes increasingly steep, it generates barotropic instability within the eyewall, at the origin of the formation of such meso-vortices which then shed off into the eye, in more or less large numbers. A configuration of 3 to 4 meso-vortices is generally associated with a relatively wide eyewall, whereas narrower eyewalls (corresponding to higher wind spikes) produce instability with larger wave-numbers (resulting in hexagonal structures for example).*

The impression left by the microwave imagery was more reserved however, with a structure that appeared to be fluctuating and less sturdy, with an eyewall associated to a convective ring, now strongly built, now incomplete, more or less gashed, or even definitely open (like in the evening of 20 February), with a weakness that recurred repeatedly on its eastern to southeastern portion. That uncertain evolution, with ups and downs, would last until the landfall on the Malagasy coast and prompted one to assume that the intensity of the phenomenon had remained more or less stable in the interval (corresponding to a rather long period, since it lasted about thirty hours all the same). That assumption, which might look paradoxical regarding the aforementioned structure fluctuations, amounted to considering that the latter would recur at too close intervals, to affect the intensity at the surface other than by oscillations of small amplitude. That

assumed plateaued intensity was also corroborated by the intensity estimates derived from the AMSU-A data. What seemed to be admitted in any case, was that the meteor had not weakened before arriving on the southwestern seaboard of Madagascar. On the contrary, owing to a new rebound in terms of organization that occurred during the second part of the night of 21 to 22 February, it could even be said that HARUNA displayed at that time its best depiction (or at least equivalent to the most impressive configuration exhibited up to then, i.e. on the previous day, in the morning of 21 February), with in particular an eyewall associated with a ring of convection almost entirely homogeneous. The cyclone could therefore be considered to have made landfall at its intensity peak, when its centre crossed the Malagasy shoreline at dawn on 22 February, less than 55 km to the south of the town of Morombe. The latter was hit hard by the northern

Cette supputation, qui peut apparaître paradoxale au regard des fluctuations de structure ci-avant invoquées, revient à considérer que ces dernières revenaient à intervalle trop rapproché, pour se répercuter sur l'intensité en surface autrement que par des oscillations de faible amplitude. Cette stabilité supposée de l'intensité est confortée aussi par les estimations d'intensité dérivées des données AMSU-A.

Ce qui semble en tout cas avéré, c'est que le météore ne s'est pas affaibli avant son arrivée sur le littoral sud-ouest de Madagascar. Bien au contraire. Suite à un nouveau rebond en terme d'organisation intervenu en deuxième partie de nuit du 21 au 22 février, on peut même dire qu'HARUNA affiche à ce moment-là sa structure la plus aboutie (ou à tout le moins équivalente à la configuration la plus impressionnante exhibée jusque là, i.e. celle de la veille, 21 au matin), avec en particulier un mur de l'œil associé à un anneau de convection presque entièrement homogène. On peut donc considérer que le cyclone a touché terre au maximum de son intensité, son centre franchissant la côte malgache à l'aube du 22 février, à moins de 55 km au sud de la localité de Morombe. Cette dernière est frappée de plein fouet par la partie nord du mur de l'œil, celle sous laquelle prévalaient alors les pires conditions météorologiques générées par le phénomène (avec des rafales de vent dépassant les 200 km/h). La plupart des habitations et infrastructures sont détruites ou sévèrement endommagées à Morombe.

Alors qu'HARUNA avait effectué toute son approche finale de la Grande Ile sur un cap est à est-nord-est, l'atterrissage s'accompagne d'un virage en direction du sud-est. Ce changement de trajectoire était attendu, et l'on pouvait même craindre qu'il intervienne un peu plus tôt avant l'arrivée sur terre, avec potentiellement le risque de voir l'œil du cyclone prendre alors en enfilade toute la portion de côte comprise entre Morombe et Tuléar, scénario évidemment hautement défavorable. Il n'en est finalement rien, puisque si la progression s'opère effectivement parallèlement à la côte, cela a lieu quelques dizaines de km à l'intérieur des terres, ce qui favorise un affaiblissement plus rapide du météore.

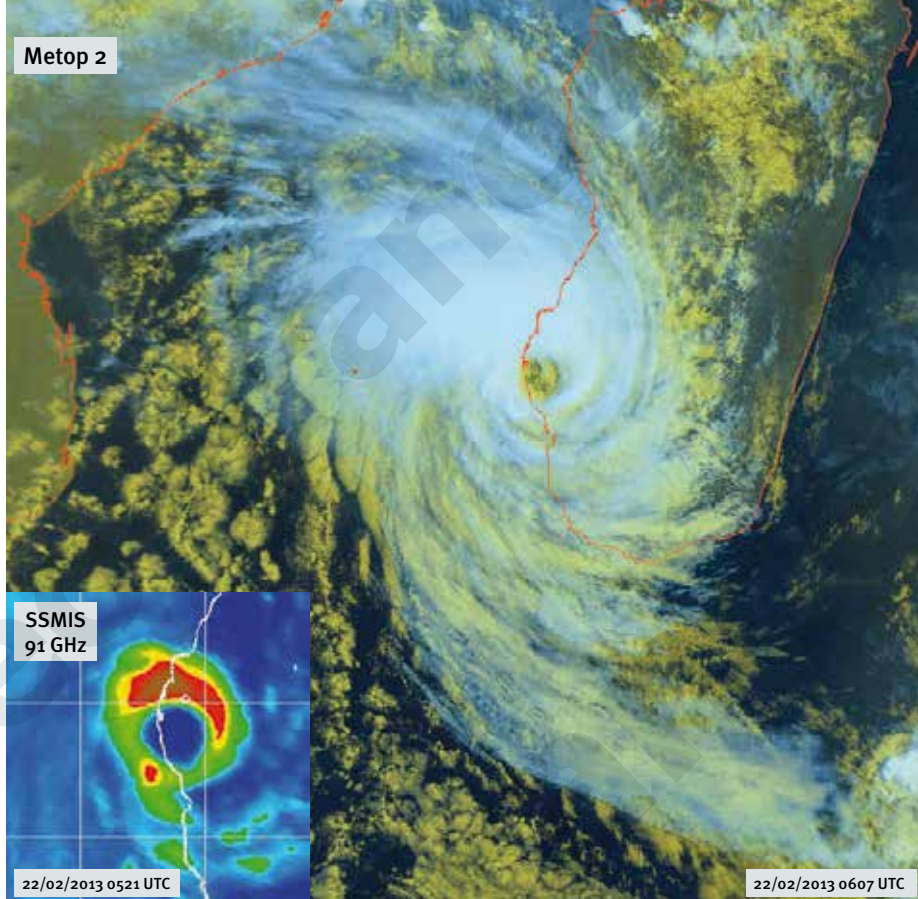
Cela ne sera toutefois pas suffisant pour épargner Tuléar. Car si la cité côtière échappe aux vents réellement dévastateurs, elle va en revanche subir le contrecoup d'un autre effet du cyclone, à savoir les fortes pluies déversées par le météore sur l'arrière-pays. Sans être exceptionnelles (120 mm tombés à Ranohira, dont 99 mm



en 24 h ; 100 mm recueillis en 12h à Tuléar), ces pluies vont suffire à faire gonfler les eaux du fleuve Fiherenana, qui va rompre des digues de protection au nord de Tuléar, provoquant l'invasissement d'une grande partie de la ville par une vague d'eau boueuse et saumâtre, piégeant nombre d'habitants. Ces inondations meurtrières, les pires qu'ait connues Tuléar depuis celles occasionnées près de 35 ans plus tôt par le cyclone tropical ANGELE fin décembre 1978 (à l'époque, suite aux pluies déversées sur le massif de l'Analavelona, une crue historique de la rivière Fiherenana, avec un débit enregistré à 10 000 m<sup>3</sup>/s – source Chaperon, P.J, J. Danloux et L. Ferry, 1993, Fleuves et rivières de Madagascar, Ed ORSTOM – avait balayé toute la zone), ont fait 11 morts et 16 disparus.

Mais le bilan pour l'ensemble du Sud-Ouest de la Grande Ile est bien sûr plus élevé, avec 15 morts supplémentaires à rajouter à ce décompte de la seule ville de Tuléar (pour un total de 26 décès donc, 127 blessés et plus de 40 000 sinistrés, dont près de 13 000 sans abri). Les dégâts aux infrastructures (7400 cases détruites, plus de 2800 maisons "décoiffées", plus de 5000 autres endommagées) et à l'agriculture (près de 14 000 ha de cultures inondées et pour certaines ensablées), ont entraîné une grave crise humanitaire, sanitaire et alimentaire. D'autant que les répercussions d'HARUNA ont connu des prolongements bien au-delà de sa zone directe d'impact. Le Sud de la Grande Ile était en proie depuis avril 2012 à une infestation acridienne. Les pluies d'HARUNA ont contribué à favoriser la reproduction des criquets, qui ont ainsi continué à se multiplier et à se propager au reste de la Grande Ile. En mars 2013, on estimait ainsi que la moitié de Madagascar était confrontée à ce fléau acridien et l'on craignait que d'ici septembre les criquets aient envahi les 2/3 du pays.

HARUNA va mettre environ 28 heures pour traverser le Sud malgache, le centre de la dépression résiduelle coupant le littoral sud-est de la Grande Ile en matinée du 23 février, un peu au nord de la ville de Fort Dauphin (qui a été préalablement copieusement arrosée durant la nuit, avec 123 mm de précipitations tombés en l'espace de 6h – pour un total de 164 mm recueillis en 24h). Les observations de la station météorologique locale permettent de valider, avec un bon degré de confiance, un minimum de pression à 991 hPa au moment de la ressortie en mer. Cette valeur est plus creuse que ce que l'on observe habituellement après un aussi long séjour sur terre pour les cyclones ayant traversé



**Le cyclone tropical HARUNA pénètre sur Madagascar.** Sur cette image, acquise quelques heures après l'atterrissage sur la côte sud-ouest de la Grande Ile (au sud de Morombe), l'œil apparaît encore bien constitué, même si l'influence de l'arrivée sur terre se fait déjà sentir, avec une structure du météore rendue très dissymétrique ; le demi-cercle nord résiste beaucoup mieux, bénéficiant de l'alimentation humide de vents issus de la mer, alors que le secteur sud pâtit de vents "de terre".

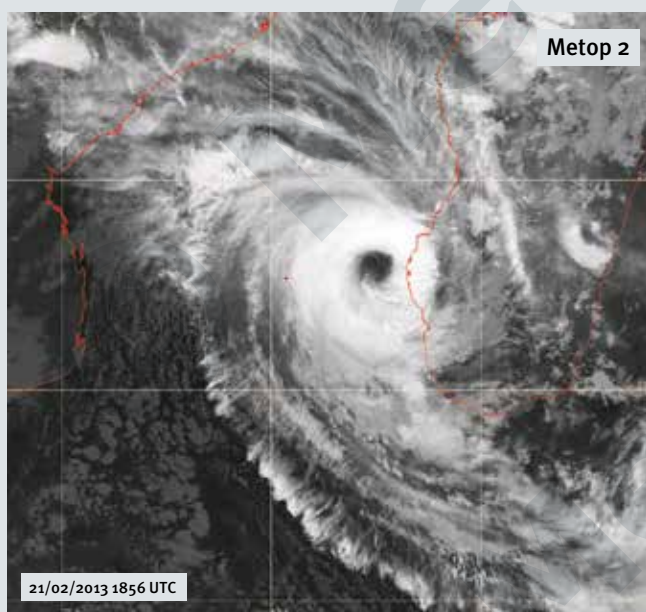
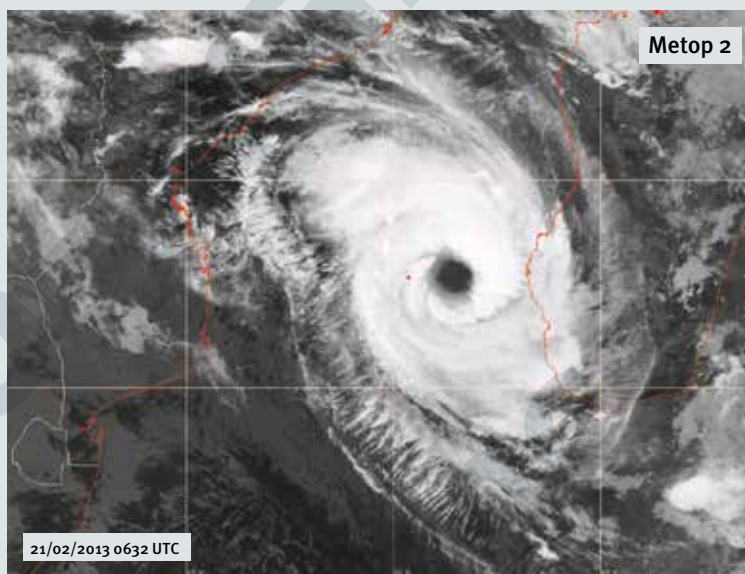
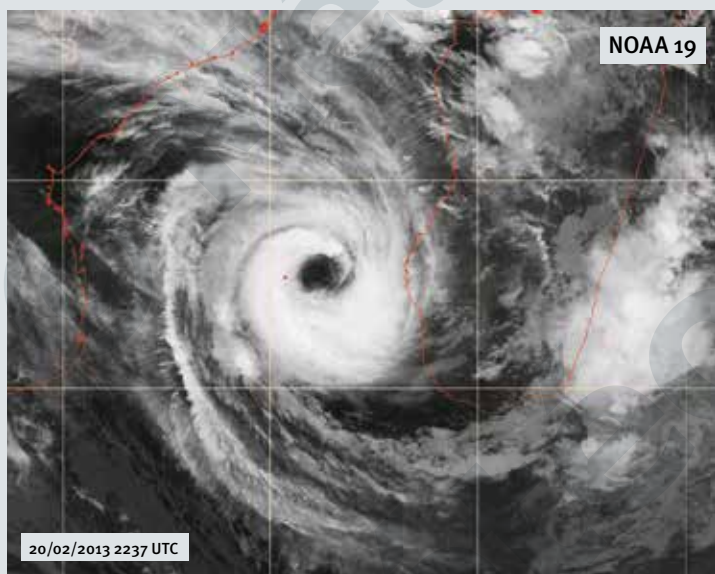
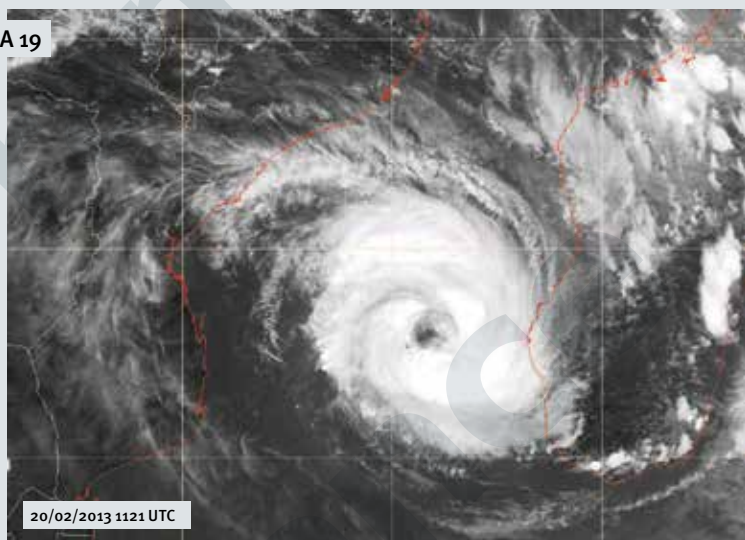
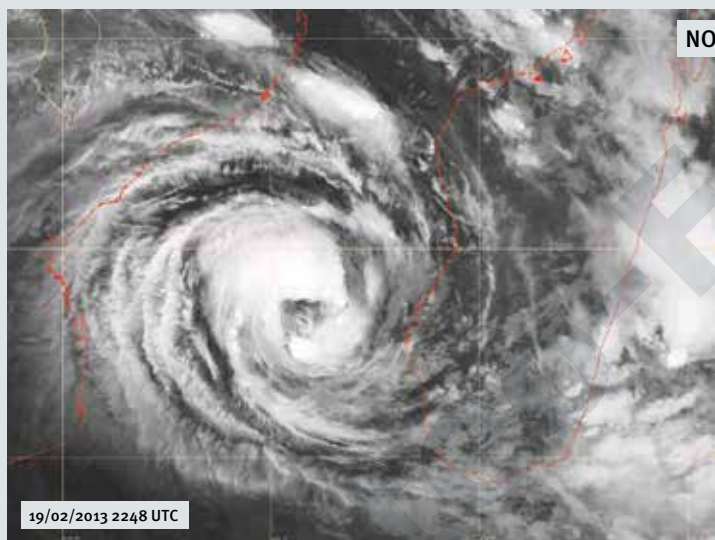
**Tropical cyclone HARUNA penetrating Madagascar.** On this image, acquired a few hours after the landfall on the southwestern coast of the Great Island (to the south of Morombe), the eye looked still well defined, even if the influence of the land could already be felt, with a structure of the meteor that had become very asymmetric; the northern semi-circle resisted much better, benefiting from the moisture supply provided by winds blowing from the sea, whereas the southern sector suffered from drier winds blowing from the land.

part of the eyewall, the one where the worst weather conditions generated by the phenomenon then prevailed (with peak gusts exceeding 200 km/h). Most of the dwellings and infrastructures were destroyed or seriously damaged at Morombe.

While HARUNA's final approach to the Great Island had been carried out on an eastward to east-northeastward heading, the landfall took place together with a bend towards the southeast. That change of trajectory was expected, and one might have even feared to see it occur a little earlier before landfall, with the potential risk that the eye of the cyclone might thread the whole coastal area stretching between Morombe and Tulear, a highly unfavourable scenario of course. But nothing of the sort occurred eventually, since if the progression was actually parallel to the coast, it took place some dozens of km inland, which favoured a faster weakening of the meteor. Yet, that would not be enough to spare Tulear. Since if the seaside town avoided the really devastating winds, it would on the other hand bear the brunt of another effect of the cyclone, namely the heavy rains poured by the meteor over the

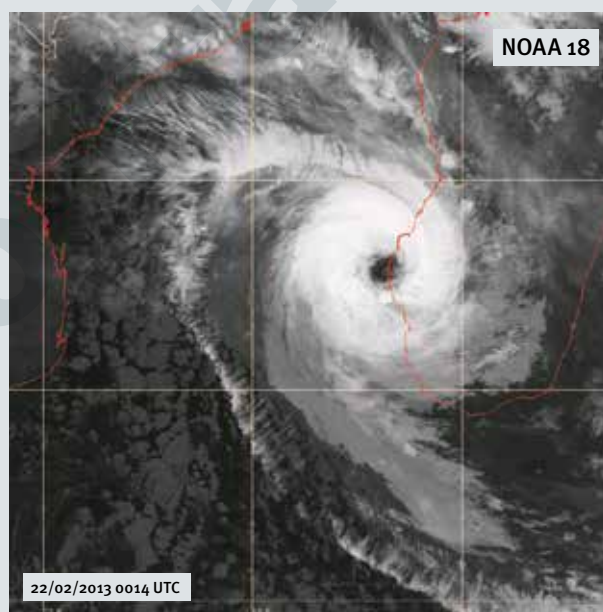
hinterland. Without being exceptional (120 mm recorded at Ranohira, of which 99 mm fell in 24h; 100 mm in 12h at Tulear), those rains were heavy enough to swell the Fiherenana river, which burst some flood-protection dikes to the north of Tulear, causing a large part of the town to be invaded by a wave of brackish and muddy water that trapped many inhabitants. Those deadly floods, the worst that Tulear had known since those caused by tropical cyclone ANGELE almost 35 years earlier at the end of December 1978 (in those days, after the rains had poured over the Analavelona massif, a historic flood of the Fiherenana river, with a recorded rate of flow of 10 000 m<sup>3</sup>/s – source Chaperon et al. 1993, Fleuves et Rivières de Madagascar, Ed ORSTOM – had swept across the whole area), caused 11 deaths while there were 16 persons missing. But the consequences were of course much more dramatic for the whole South-West of the Great Island, with additional 15 fatalities (for a total of 26 deaths hence, 127 persons wounded and more than 40 000 disaster victims, of whom almost 13 000 were left homeless). Damage to infrastructures (7400 dwellings destroyed, the roofs of more than 2800



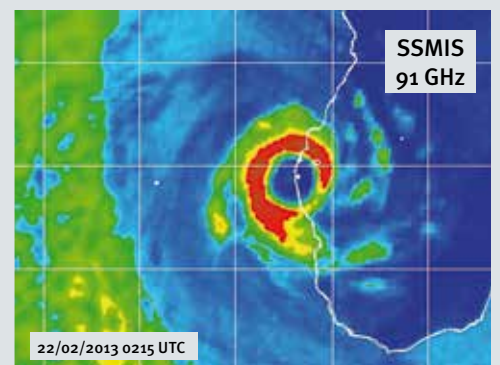
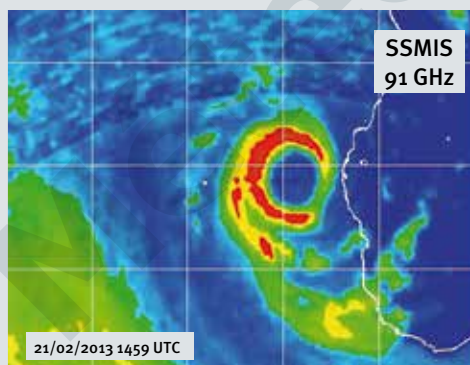
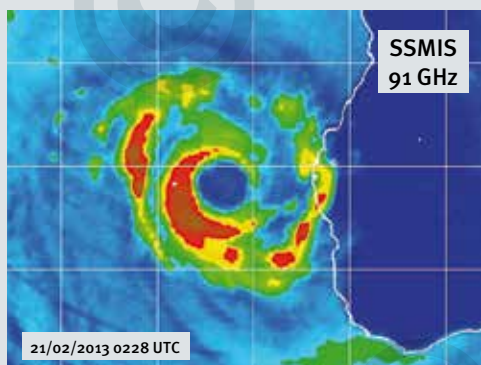
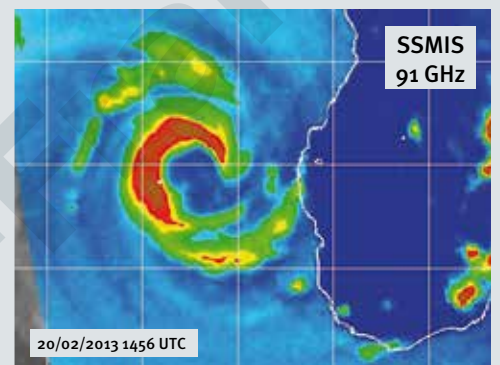
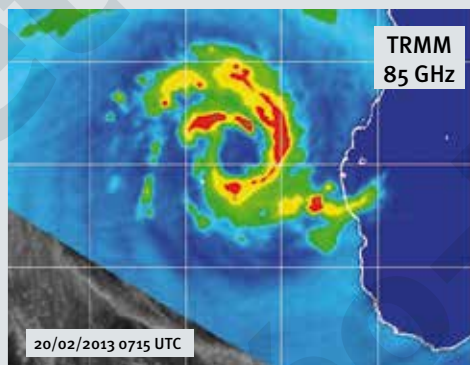
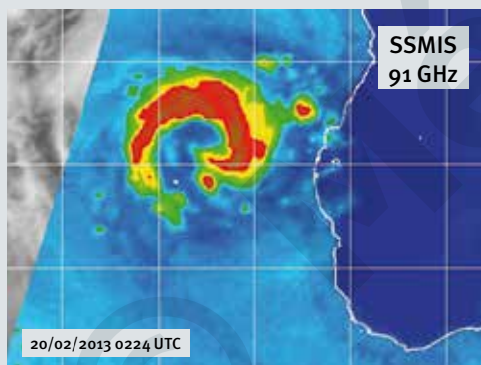
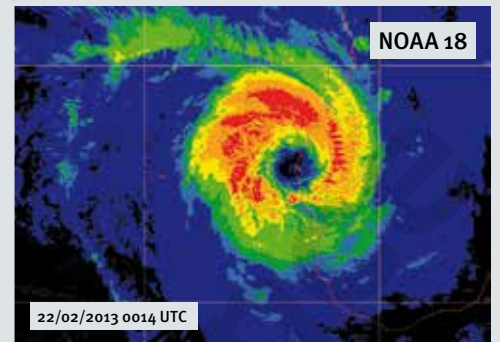
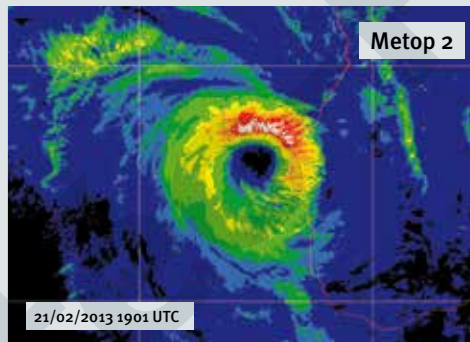
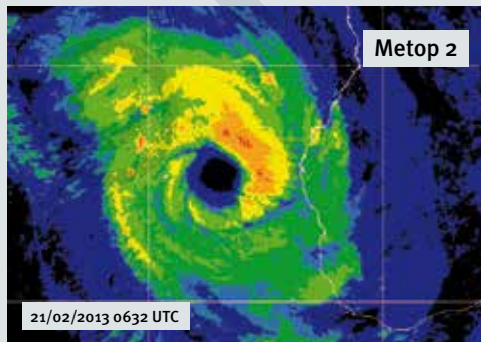
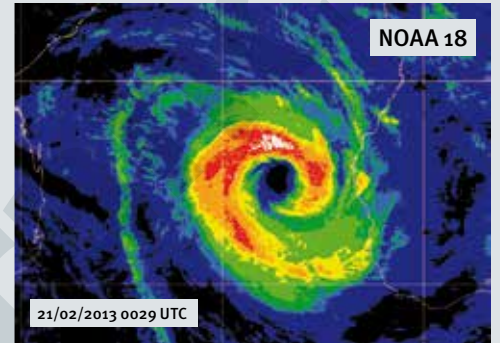
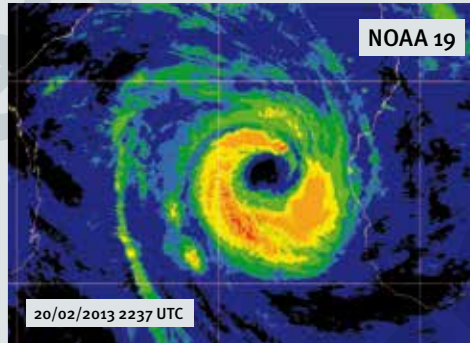
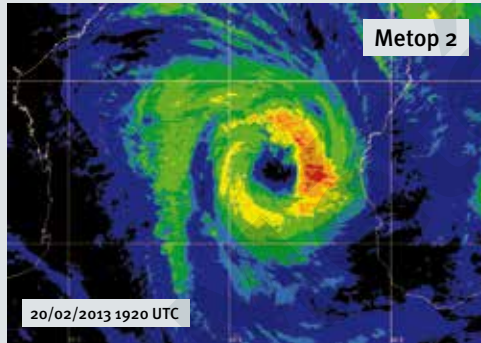
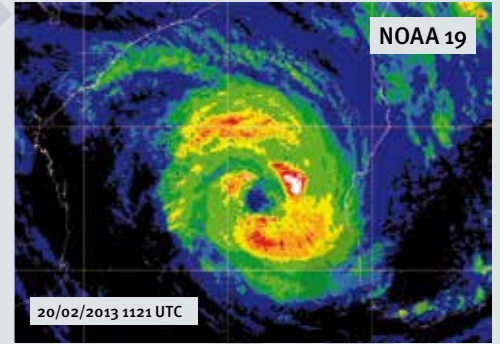
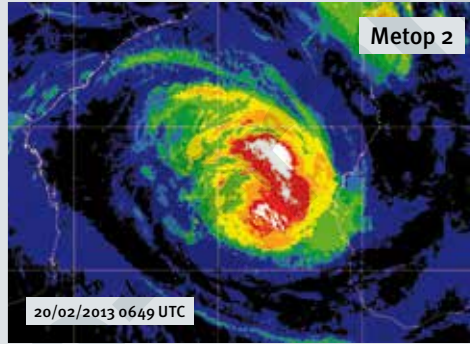
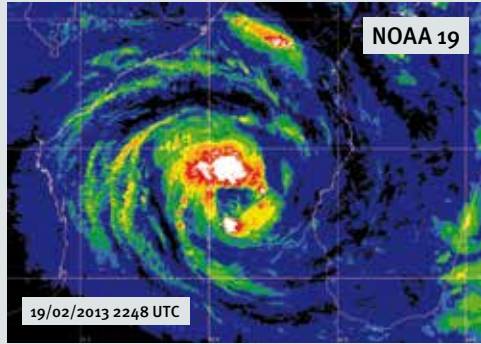


Ces séries d'images infrarouge (infrarouge renforcé page opposée) et micro-onde, qui couvrent quelque 48h de la phase mature d'HARUNA, illustrent bien le fait qu'un cyclone est un phénomène "vivant", dont la structure, du mur de l'œil en particulier, n'est pas figée, mais évolue en permanence.

*Those sequences of infra-red (enhanced infrared on opposite page) and microwave imageries, which cover about 48h of the mature phase of HARUNA, illustrates well the fact that a cyclone is a "living" phenomenon, whose structure, the eyewall in particular, is not set and frozen but alive and kicking as evolving continually.*









22/02/2013 1105 UTC

**HARUNA affecte le Sud-Ouest de Madagascar.** L'œil résiduel est en voie de disparition, mais 9h après avoir touché terre, la dépression associée au météore demeure assez creuse. Une heure plus tard (à 12 utc), au moment du passage au plus près de la station d'observation de Tuléar, celle-ci enregistrera ainsi un minimum de pression mer assez bas de 983.7 hPa (non corrigé de la marée barométrique).

**HARUNA affecting the South-West of Madagascar.** The residual eye was about to vanish, but 9h after it made landfall, the depression associated with the meteor remained rather deep. One hour later (at 12 utc), when it transited nearest to the station of Tuléar, the latter thus recorded a rather low minimum sea-level pressure of 983.7 hPa (not corrected from the barometric tide).

houses ripped off, more than another 5000 damaged) and to agriculture (almost 14 000 ha of crops flooded and some of them sanded up), resulted in a serious humanitarian and sanitary crisis and food supply shortage. All the more so as HARUNA's aftermath extended far beyond the area that was directly impacted. The South of the Great Island had been the victim of an invasion of locusts since April 2012. The rains generated by HARUNA contributed to favouring the reproduction of the locusts which thus went on multiplying and spread to the rest of the Great Island. In March 2013, it was estimated that half of Madagascar was confronted with the plague of locusts and it was feared that by September the locusts might have invaded 2/3 of the country. It took about 28h for HARUNA to cross the Malagasy South, the centre of the remnant low cutting through the southeastern coast of the Great Island in the morning of 23 February, a little to the north of the town of Fort Dauphin (which had previously undergone heavy rainfall during the night, with 123 mm recorded within the space of 6h – for a total amount of 164 mm in 24h). Thanks to the observations of the local meteorological station it was possible to validate, with a good level of confidence, a minimum pressure of 991 hPa at the time when the meteor went out to sea again. That

value was deeper than what is usually observed after such a long stay inland for the cyclones which cross Madagascar. It is true that the core of the meteor had "imploded" only belatedly, after resisting rather well and lastingly its overland journey, with a structure that still looked rather well-preserved during the first part of the night of 22 to 23 February. Eventually, this relatively limited filling of the depression, which warranted HARUNA to be promoted straightaway to the stage of moderate tropical storm as it entered the waters of the Indian Ocean, could foreshadow real potentialities for the regeneration of the system. All the more so as the environmental conditions were not hostile but even moderately favourable, with a good low-level convergence on the southern side, a weak vertical windshear, on the northern fringe of the subtropical jet stream, which supplied a ready-made poleward outflow channel at the upper levels. The convection still had to re-develop near the low-pressure centre to be able to reactivate the cyclone dynamics. Such seemed to be the case during the night of 23 to 24 February, when a small cloud cluster of convection formed in the vicinity of the surface low.

However, that was nothing but a short-lived flash in the pan. As early as the beginning of the day of 24 February, most of the convection decayed and vanished, surviving only via a few residual scraps to the south and southwest of the exposed vortex of low- and mid-level clouds. Under the combined effect of cooler sea surface temperatures (below 26°C), of the presence of dry air in mid-troposphere, and of an increasing vertical windshear, the convection no longer managed to settle again significantly and the depression gradually filled. After keeping on an east-southeastward, then eastward trajectory, on the boundary of a frontal trough to the south, thus transiting some hundreds km to the south of the Mascarene Islands, the depression was shoved back (in the afternoon of 26 February) towards the northwest by the surge of the subtropical high which was propagating towards the rear of the frontal trough. Caught in the steering flow of the trade winds, it eventually dissipated two days later to the southwest of La Reunion.

The only storm of the season to have evolved in the Mozambique Channel, tropical cyclone HARUNA was also the only meteor whose core had directly impacted one of the inhabited lands of the South-West Indian Ocean, in this case Madagascar, thus becoming the only deadly phenomenon of the 2012-2013 cyclone season.

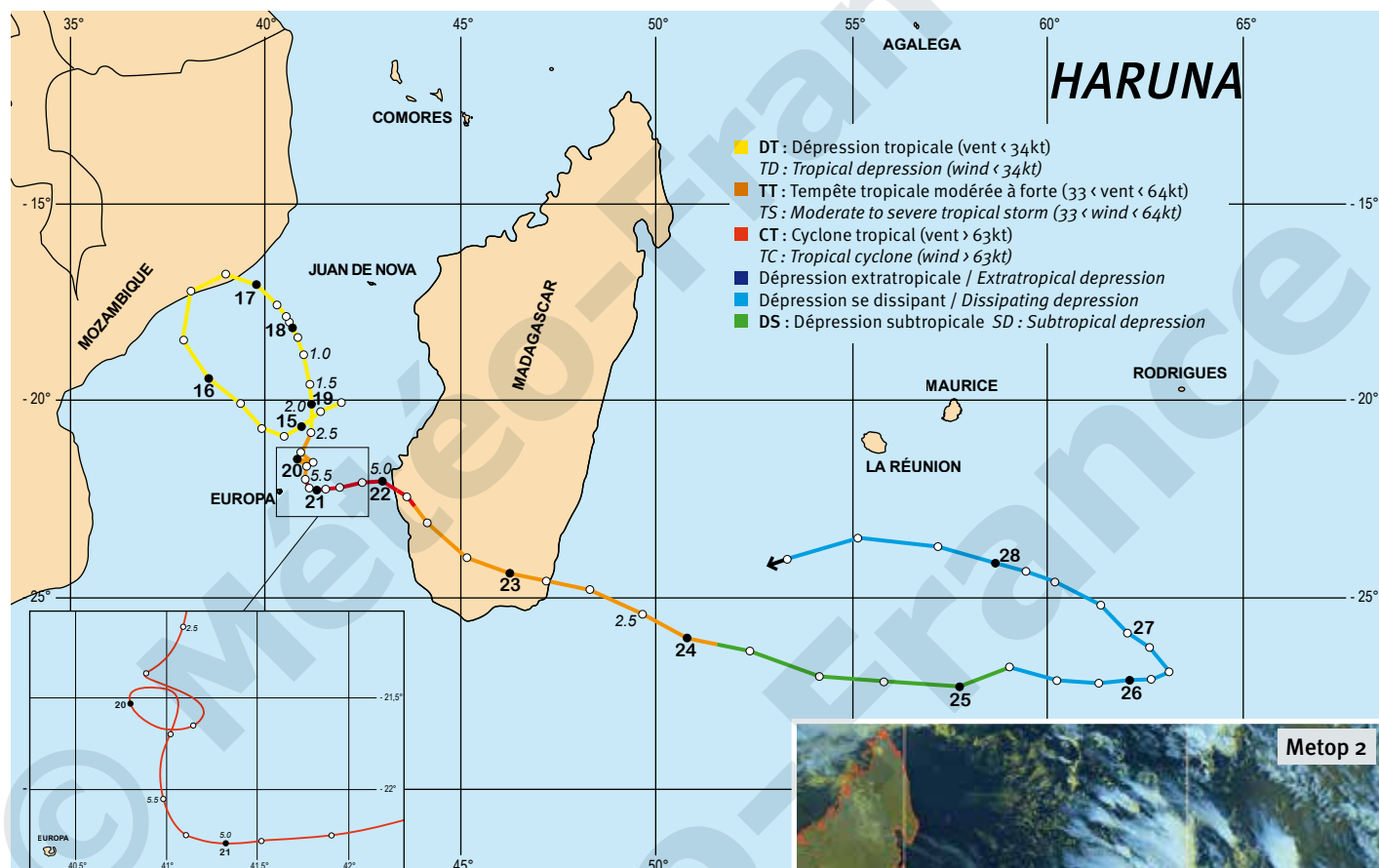
Madagascar. Il est vrai que le cœur du météore n'a "implosé" que tardivement, après avoir longtemps plutôt bien résisté à son périple terrestre, avec une structure apparaissant encore relativement bien préservée en première partie de nuit du 22 au 23.

Avec un comblement de la dépression finalement relativement limité, qui a valu à HARUNA d'être re-qualifié d'emblée en tempête tropicale modérée à son entrée sur les eaux de l'océan Indien, cela peut augurer d'un réel potentiel de régénération pour le système. D'autant que les conditions environnementales ne sont pas hostiles et même modérément favorables, avec une bonne convergence de basses couches du côté sud, un cisaillement vertical de vent faible, en marge septentrionale du jet subtropical, qui offre quant à lui un canal d'évacuation tout trouvé pour le flux sortant d'altitude du côté polaire. Reste à la convection de se re-développer près du centre dépressionnaire pour pouvoir ré-activer la dynamique cyclonique. Ce qui semble devoir être le cas dans la nuit du 23 au 24, qui voit un petit amas de convection se former à proximité du minimum de surface.

Mais il ne s'agit là que d'un feu de paille éphémère. Dès le début de journée du 24, la convection dégénère et se dissout pour l'essentiel, ne subsistant plus que via quelques bribes résiduelles au sud et au sud-ouest du vortex de nuages bas et moyens exposé. Sous l'effet combiné de températures de surface de la mer plus fraîches (inférieures à 26°C), de présence d'air sec en moyenne troposphère, et d'un cisaillement vertical de vent en hausse, la convection ne parviendra plus à se ré-implanter significativement et la dépression va aller désormais en se comblant. Après avoir poursuivi sur une trajectoire est-sud-est, puis est, en marge d'un talweg frontal au sud, et transité ainsi à quelques centaines de km au sud des Mascareignes, celle-ci est refoulée (dans l'après-midi du 26) vers le nord-ouest par la poussée anticyclonique subtropicale qui gagne à l'arrière du talweg frontal. Reprise par le flux directeur d'alizé, elle se dissipe deux jours plus tard au sud-ouest de La Réunion.

Seul système dépressionnaire de la saison à avoir évolué dans le Canal de Mozambique, le cyclone tropical HARUNA a également été le seul météore dont le cœur ait impacté directement une des terres habitées de la zone Sud-Ouest de l'océan Indien, en l'occurrence Madagascar, devenant ainsi le seul phénomène meurtrier de la saison cyclonique 2012-2013.



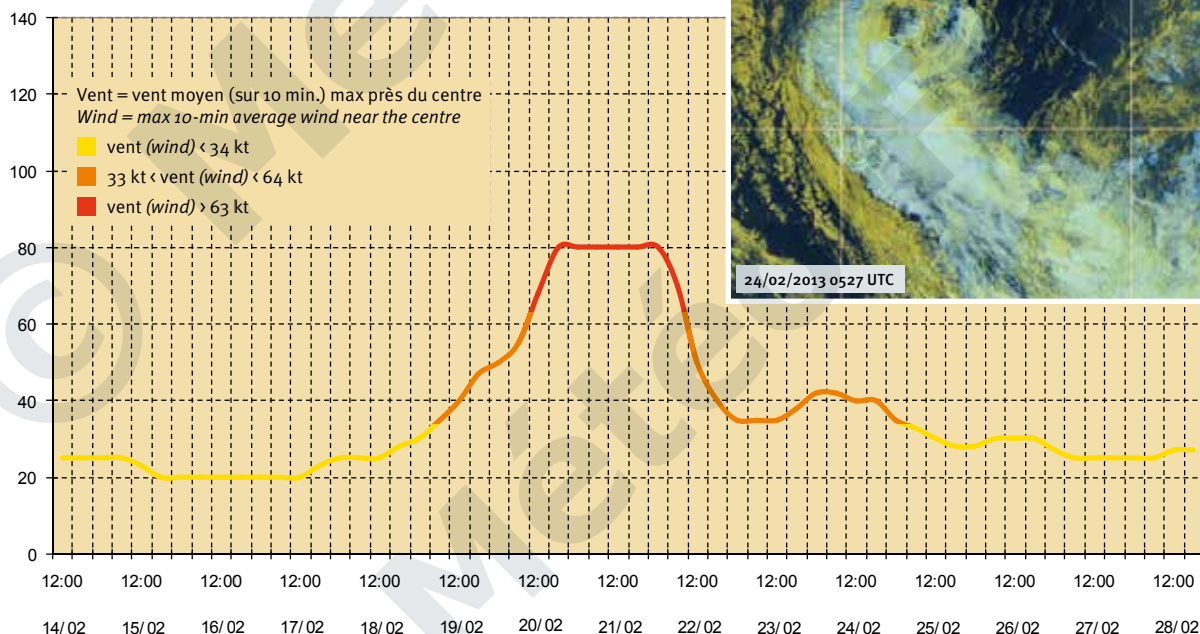


Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

**Fin de vie d'HARUNA.** Après avoir achevé sa traversée du Sud de Madagascar 24h plus tôt, la dépression résiduelle s'apprête à transiter à bonne distance au sud des Mascareignes. Elle ne parviendra pas à se régénérer et finira par se dissiper quelques jours plus tard, un peu plus au nord.

**End of HARUNA's life-cycle.** After having achieved its crossing of the southern Madagascar 24h earlier, the remnant low was about to transit to the south of the Mascarene Islands, at a safe distance. It would never manage to regenerate and would eventually dissipate a few days later a little distance to the north.

HARUNA du 14/02 au 28/02/2013



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)

# Imelda

## Cyclone Tropical

du 2 au 20 avril 2013

*Tropical Cyclone "Imelda" (2-20 April 2013)*



### FORMATION



près la dissipation, au sud-ouest de La Réunion, des restes de HARUNA, le dernier jour du mois de février, l'activité cyclonique marque une pause sur le bassin. Celle-ci va s'avérer particulièrement durable, puisqu'elle va se prolonger jusqu'au ...début du mois d'avril ! Ce qui signifie que le mois de mars a été exempt de tout système dépressionnaire (l'activité perturbée ne fut toutefois pas totalement inexistante, puisqu'une zone perturbée a évolué au sud-est des Chagos en fin de première décennie, mais sans trouver les conditions favorables à un développement), un événement plutôt rare, puisqu'un tel fait ne s'était pas produit depuis la saison 1983-1984, donc depuis quasiment trois décennies. En fait, depuis le début de l'exploitation régulière de l'imagerie satellitaire pour le suivi des systèmes dépressionnaires tropicaux dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, qui remonte à la saison 1967-1968 (soit il y a 45 ans), c'est seulement la cinquième fois que l'on observe un mois de mars sans aucune activité cyclonique (aucune présence de système actif et aucune cyclogenèse) à l'ouest de 80°Est (qui constituait la limite orientale du bassin jusqu'en septembre 1985). Si l'on s'intéresse uniquement à l'aspect cyclogenèse, c'est la septième fois, sur le même domaine et sur la même période, qu'il n'y a aucune cyclogenèse observée durant le mois de mars.

L'absence de perturbation tropicale ne signifia pas pour autant que le temps fût parfaitement calme sur le bassin. Un temps perturbé, associé à de nombreux foyers orageux, va ainsi affecter la zone des Mascareignes en toute fin de mois, et plus particulièrement l'île Maurice, durement frappée par des pluies diluviennes le 30

mars, à l'origine de crues et inondations meurtrières dans la capitale Port-Louis (faisant 11 morts).

En cette fin mars 2013, marquée par une quasi disparition du flux de mousson sur la zone proche-équatoriale depuis près de quinze jours, la question pouvait donc se poser de savoir si la saison cyclonique 2012-2013 n'était pas déjà belle et bien terminée (impliquant une fin prématurée fin février...). Mais la consultation des archives du bassin inclinait toutefois à demeurer prudent, voire sceptique, par rapport à une telle éventualité, indiquant, en effet, que sur les 6 années antérieures sans la moindre cyclogenèse observée au mois de mars, pour 4 d'entre elles la saison ne s'était pas achevée ainsi (i.e. sans occurrence ultérieure du moindre phénomène). Cette saison 2012-2013 va de fait suivre la statistique dominante. Et ce sont finalement deux systèmes qui vont voir le jour avant la fin officielle de la saison (le 30 juin), un en avril, puis un autre en mai.

Le premier d'entre eux va émerger suite au rétablissement, au changement de mois, d'un flux trans-équatorial et du talweg de mousson induit. Il en résulte une forte poussée d'activité convective à l'est de 60°Est, se focalisant rapidement autour d'un minimum dépressionnaire identifiable dès la nuit du 2 au 3 avril, à quelque 200 km au sud-est de Diego Garcia. Le caractère suspect de cette zone perturbée est avéré, puisque outre la signature nuageuse tourbillonnaire déjà bien affirmée affichée sur l'imagerie satellitaire du 3, une forte probabilité de cyclogenèse à moyenne échéance est proclamée par la prévision d'ensemble, et ce depuis le 1<sup>er</sup> avril.

En cette journée du 3 avril, les conditions environnementales apparaissent cependant

mitigées : si la convergence de basses couches est assurée du côté équatorial, elle demeure pour le moment déficiente du côté polaire, où l'alizé a dû s'éclipser temporairement, pour laisser place à un talweg frontal associé à un col barométrique en basse troposphère, positionné vers 20°Sud à l'aplomb du système. D'autre part, le minimum dépressionnaire fraîchement éclos (alors estimé à 1005 hPa) se trouve au nord-ouest de la dorsale d'altitude (axée vers 10°Sud) et est en conséquence soumis à un flux d'est modéré et diffluent qui, s'il permet d'entretenir de la divergence en altitude, impose une légère contrainte de cisaillement. D'autant que, pris dans le flux directeur associé à la dynamique du flux de mousson, le minimum se décale dans un premier temps vers l'est (à un peu moins de 10 nœuds), à contre-courant donc de la contrainte cisailée, qui s'en trouve amplifiée d'autant.

Le lendemain (4 avril), on note des modifications significatives dans les conditions environnementales. Tout d'abord, le flux de mousson devient plus zonal (donc moins directement convergent vers le minimum) et moins humide sur la partie centrale de l'Océan Indien tropical. Il en résulte que toute l'activité convective "bouillonnante" présente 24h plus tôt au nord du minimum dépressionnaire, au sein de l'alimentation du flux de mousson, a pratiquement entièrement disparu. Autre évolution importante du contexte synoptique : la dorsale d'altitude s'est déplacée de 2 à 3 degrés vers le sud ; sur sa face nord, le cisaillement d'est s'est, en conséquence, sensiblement renforcé par rapport à la veille. Le seul changement "propice" au système, vient du côté sud et des basses couches de l'atmosphère où, avec l'évacuation du talweg précité, l'alizé se rétablit graduellement, tout en restant dans un premier temps très modéré. Ces évolutions, plutôt globalement "défavorables", des conditions environnementales, seraient potentiellement même de mettre un terme prématuré à toute velléité de cyclogenèse. Mais ce n'est pas ce qui est prévu par les modèles numériques, qui tablent toujours sur une cyclogenèse à venir, mais pas avant plusieurs jours toutefois.

En attendant, la réalité du terrain, ou tout du moins le reflet sommaire qu'en donne l'imagerie satellitaire, semble aller dans ce sens, puisque le système embryonnaire n'apparaît pas trop affecté par cet environnement relativement hostile auquel il est confronté. Il faut croire que l'impulsion initiale a été suffisante pour lui permettre de se maintenir...



Le cyclone tropical IMELDA, quelques heures avant d'atteindre son maximum absolu d'intensité, menace l'île Rodrigues. Cela faisait 8 ans qu'un cyclone tropical n'avait pas menacé une des îles Mascareignes tardivement en fin de saison, i.e. au mois d'avril (il s'agissait déjà de l'île Rodrigues, avec le cyclone JULIET, passé finalement à proximité sud-est le 10 avril 2005).

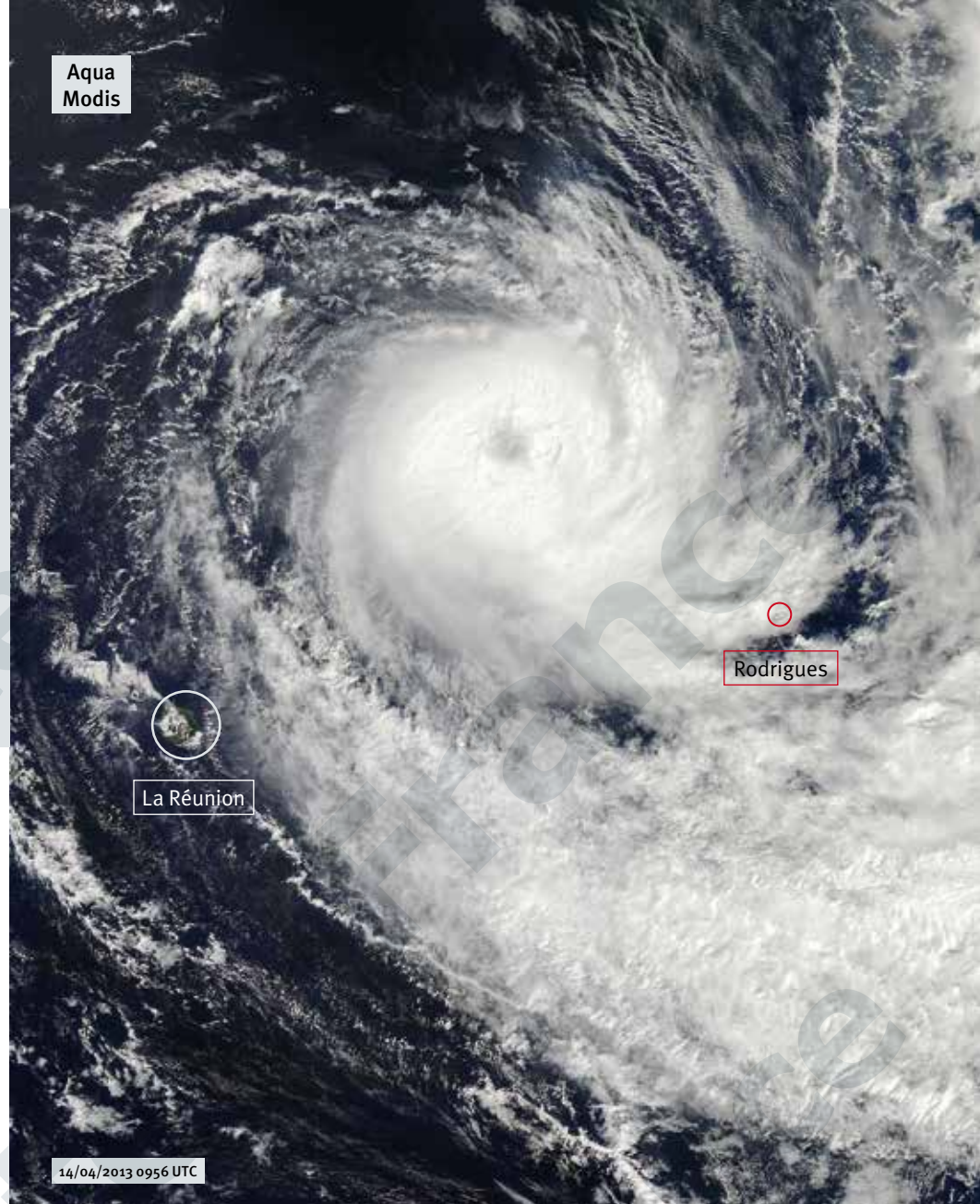
Les masses nuageuses denses ceinturant l'œil d'IMELDA, cyclone relativement compact, ne vont pas tarder de commencer à s'éloigner de l'archipel de St-Brandon, où les conditions météorologiques sont en voie d'amélioration, après deux journées de temps très perturbé (voir détails page 92). Le météore se déplace en effet en direction du sud-est, avec une trajectoire pointant vers l'île Rodrigues, tout juste touchée à cette heure par les premières bandes périphériques rattachées au cœur du cyclone. L'île Maurice est influencée par une bande nuageuse externe présente au sud du système et connaît un temps modérément pluvieux (localement plus de 70 mm de précipitations enregistrés en 24h). La Réunion se situe, quant à elle, en marge de cette bande et ne sera in fine pour ainsi dire pas concernée directement par le phénomène, qui, la veille encore, se dirigeait pourtant dans sa direction (d'où une mise en pré-alerte de précaution).

et même de continuer de se creuser légèrement (la pression centrale étant désormais estimée à 1003 hPa). Le système se présente ainsi, à la mi-journée du 4 avril, sous la forme d'une circulation de basses couches bien définie, avec un centre dépressionnaire trônant au cœur d'un petit vortex de nuages bas partiellement exposé en bordure orientale d'une convection profonde encore assez fluctuante.

La dynamique équatoriale de poussée du flux de mousson s'étant affaiblie, le déplacement vers l'est a cessé, pour laisser place à une dérive vers le sud. Et avec la reconstruction à venir des hautes pressions subtropicales au sud du système, un redressement franc de la trajectoire vers l'ouest est attendu. Il s'amorce dès la soirée du 4.

Les 72h suivantes (soit jusqu'au 7 avril) vont voir peu d'évolution de la situation : une contrainte cisailée d'est assez forte perdure et alors que la convergence de basse troposphère reste limitée côté mousson, cette légère déficience est contrebalancée par une alimentation désormais bien établie du côté alizé. Le système, classé au stade de perturbation tropicale, se meut toujours en direction générale de l'ouest, avec une vitesse de déplacement modérée, oscillant entre 5 et 10 nœuds. Durant toute cette période, la structure nuageuse du système conserve peu ou prou la même configuration, le centre dépressionnaire apparaissant cependant tantôt exposé, tantôt recouvert par les nuages, au gré des poussées d'activité convective, encore très rythmées par le cycle diurne.

A partir du 7 avril, les deux éléments qui pénalisaient le système, et différaient



*Tropical cyclone IMELDA, a few hours before reaching its absolute maximum of intensity, threatens Rodrigues Island. None of the Mascarene Islands had been threatened by a cyclone late in the season for 8 years, i.e. in the month of April. Last time, it was already Rodrigues Island, which was targeted by intense cyclone JULIET, which eventually transited nearby to the southeast on 10 April 2005).*

*The dense cloud masses surrounding the eye of IMELDA, a relatively compact cyclone, would soon recede from the St-Brandon Archipelago, where the weather conditions were about to improve after two days of very disturbed weather (see details page 92). The meteor was now heading towards the southeast, on a trajectory aiming at Rodrigues Island, which had just been reached by the first peripheral bands linked to the core of the cyclone. Mauritius Island was influenced by an outer cloud band present to the south of the system and was undergoing moderately rainy weather conditions (locally more than 70 mm of rainfall recorded in 24h). As to La Réunion, it was situated on the fringe of that band and would not in the end be directly concerned so to speak by the phenomenon, which, only the day before, was yet heading in its direction (hence a cyclone pre-alert activated as a precaution).*

## FORMATION

*After the dissipation of HARUNA's remnants to the southwest of La Reunion, on the last day of February, the cyclone activity took a break over the basin. That lull turned out to be particularly long, as it lasted until the...beginning of April! Which means that no system formed during the month of March (although disturbed activity was not completely non-existent, since a zone of disturbed weather evolved to the southeast of the Chagos Archipelago towards the end of the first ten days, but without meeting the conditions conducive*

*to development), a rather unusual event, as such a fact had not occurred since the 1983-1984 season, therefore for almost thirty years. As a matter of fact, since the beginning of the permanent use of satellite imagery for the monitoring of tropical systems in the South-West Indian Ocean, which dates back to the 1967-1968 season (that is 45 years ago), it was only the fifth time that a month of March with no cyclone activity had been observed (no presence of any active system and no cyclogenesis occurrence) to the west of longitude 80°East (which had been the eastern border of the basin until*



IMELDA atteint le stade de tempête tropicale modérée.

IMELDA when reaching the moderate tropical storm stage.

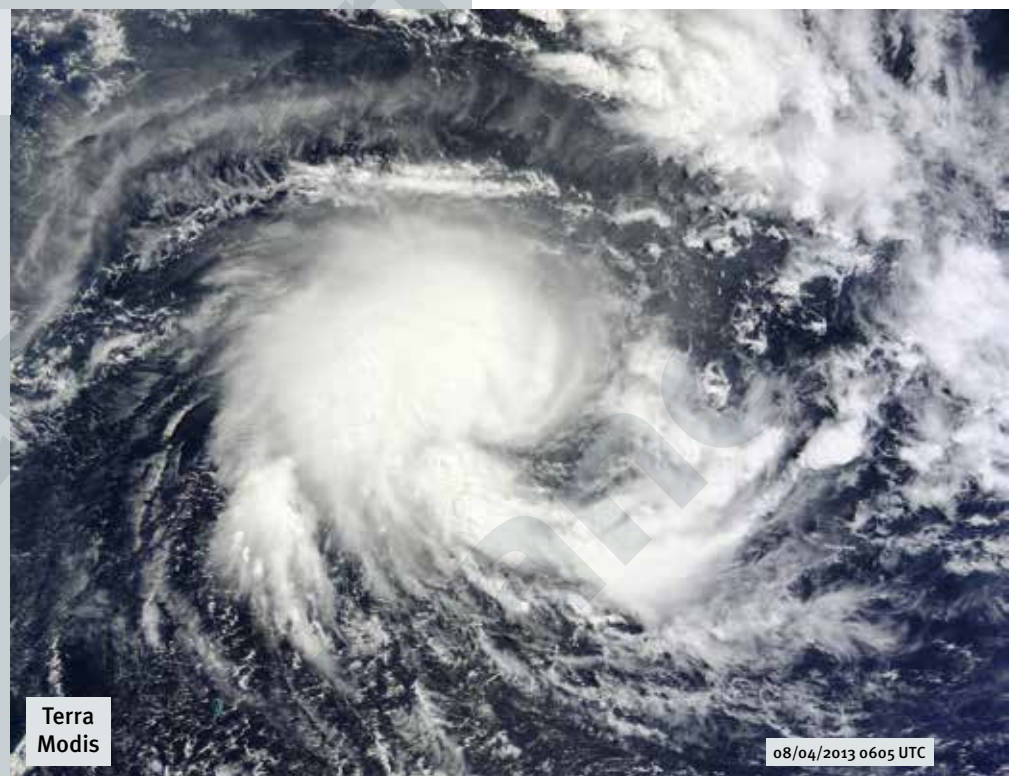
September 1985). If one considers only the cyclogenesis aspect, it was the seventh time, over the same domain and the same period, that no cyclogenesis had been observed during the month of March. The absence of tropical disturbance did not mean that the weather conditions were perfectly quiet over the basin for all that. Disturbed weather, associated with numerous thunderstorms, thus affected the area of the Mascarene Islands at the very end of the month, and more particularly Mauritius Island, severely hit by downpours on 30 March, that generated deadly rises in the water level and flash floods in the capital city, Port Louis (causing 11 deaths).

The end of March 2013 was characterized by the fact the monsoon flow had almost vanished over the near-equatorial zone since almost a fortnight before. So that one might have wondered whether the 2012-2013 cyclone season was well and truly over (implying a premature termination towards the end of February...). But perusing the archives of the basin encouraged one to be cautious, even sceptical, about such a contingency, actually indicating that, out of the previous 6 years without the slightest cyclogenesis observed during the month of March, for 4 of them the season had not come to an end in this way (e.g. without the subsequent occurrence of any phenomenon).

The 2012-2013 season would turn out to follow the prevailing statistics, since two systems were then to form before the official end of the season (30 June), one in April, then one in May.

The first one emerged after a trans-equatorial flow and the induced monsoon trough had re-established at the turn of the month. That synoptic shift resulted in a powerful outburst of convective activity to the east of longitude 60°East, swiftly focussing around a low that was identifiable as early as the night of 2 to 3 April, some 200 km to the southeast of Diego Garcia. That zone of disturbed weather was obviously considered suspect, since in addition to the already well-defined swirling cloud signature displayed on the satellite imagery of 3 April, a high probability of cyclogenesis at medium range had been proclaimed by the ensemble prediction, since 1 April.

However, on 3 April, the environmental conditions seemed to be mitigated : if the



low-level convergence was ensured equatorward, it remained insufficient for the time being on the poleward side, where the trade winds had to slip away temporarily, to give way to a frontal trough associated with a barometric col in the lower troposphere, positioned around 20°South abeam the system. On the other hand, the newly hatched low (then estimated at 1005 hPa) found itself to the northwest of the upper ridge (whose axis stood around 10°South) and consequently underwent a moderate and diffuent easterly flow which, if it favoured some fair upper divergence, imposed a slightly sheared constraint. All the more so as, caught in the monsoonal prevailing steering flow, the low first shifted eastward (at a little less than 10 knots), therefore counter-current of the sheared constraint, whose relative magnitude was thereby accordingly increased.

On the following day (4 April), significant modifications could be noticed in the environmental conditions. First of all, the monsoon flow became more zonal (therefore converging less directly towards the low) and less moist over the central part of the tropical Indian Ocean. Consequently, all the "seething" convective activity present 24h earlier to the north of the low, within the feeding monsoon flow, had practically completely vanished. There was another important evolution of the synoptic context: the upper ridge had shifted by 2 to 3 degrees southward; as a result, on its

son évolution, deviennent moins défavorables. La contrainte cisailée tend à s'adoucir ; il s'agit là d'un effet indirect de l'accélération de la progression vers l'ouest de la perturbation, qui, canalisée en bordure des hautes pressions subtropicales de basse et moyenne troposphère, voit sa vitesse de déplacement grimper à plus de 20 km/h (pour excéder même temporairement les 30 km/h dans la nuit du 7 au 8, quand le minimum dépressionnaire passe par le travers nord du maximum anticyclonique de surface), ce qui induit de facto une réduction du cisaillement vertical de vent d'est (dans un repère relatif lié à la perturbation mobile). D'autre part, on note le retour d'une convergence de basses couches un peu plus directe du côté mousson. Cela redonne illico une nouvelle impulsion à l'activité convective, se traduisant par le développement d'un puissant amas de convection profonde (de plus de 250 km de diamètre) dans la nuit du 7 au 8, ce qui donne ainsi le coup de fouet décisif permettant à la cyclogénèse de se concrétiser enfin.

Le météore est classé en dépression tropicale, puis en tempête tropicale modérée au matin du 8 avril. Les données de vents issues des orbites matinales Ascat et Oceansat ne font que confirmer la validité de ce changement de statut, indiquant la présence de coup de vent sur une portion significative de la circulation



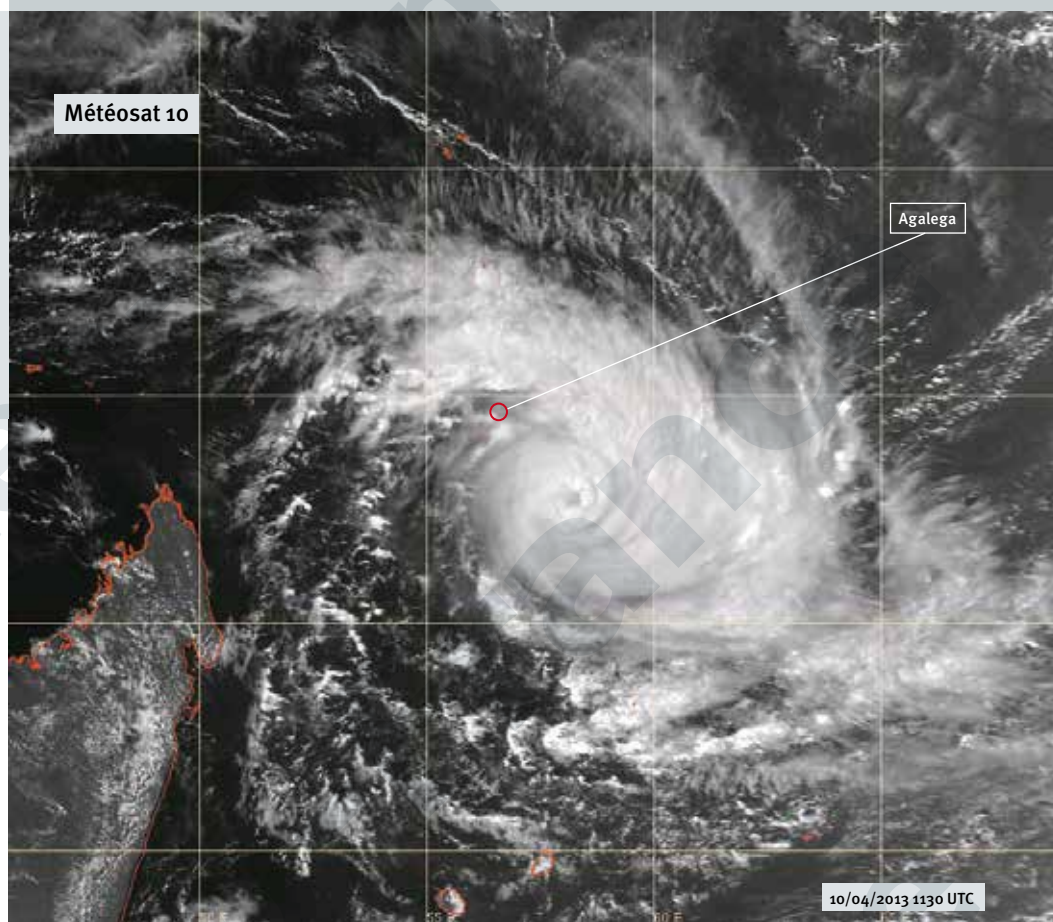
**IMELDA atteint un premier pic d'intensité au stade minimal de cyclone tropical.** Un embryon d'œil s'est ébauché sur l'imagerie visible. Evoluant alors au nord des Mascareignes, le météore n'exerce pas d'influence significative sur l'archipel. Il en va différemment pour les îlots d'Agalega, situés à 240 km au nord-ouest du centre d'IMELDA, qui sont dans la zone d'influence directe du phénomène et vont recevoir les pluies occasionnées par les bandes périphériques gravitant autour du cœur du météore. Le déplacement relativement lent de ce dernier, fera que le temps perturbé s'y attardera pendant près de 72h, 154 mm de précipitations étant recueillis durant l'intervalle, entre le 9 et le 12 avril. Un épisode pluvieux plus long, mais finalement moindre en terme de quantités de précipitations, comparativement aux deux épisodes précédents liés aux passages de DUMILE et de FELLENG.

dépressionnaire (dans ses secteurs ouest et nord). Nommée IMELDA, la perturbation présente maintenant une convection organisée en bande incurvée.

## EVOLUTION

Cette première phase d'intensification demeure toutefois fragile, car susceptible d'être remise en cause au moindre aléa contraire, de trajectoire, en particulier. Un simple ralentissement dans la progression vers l'ouest (ouest-sud-ouest en fait) pourrait ainsi suffire à remettre le météore sous la pression de la contrainte cisailée. Ce ne sera pas le cas, la vitesse de déplacement demeurant proche des 20 km/h jusqu'au matin du 9, permettant ainsi à la structure nuageuse de continuer de se consolider entre-temps, en particulier au voisinage du centre de la perturbation, où la convection a commencé, lentement mais sûrement, de s'établir. Elle va aller en s'affermissant au fil de la journée, tout en se structurant. En fin d'après-midi, l'imagerie micro-onde confirme cette évolution, révélant les prémices de la formation d'un œil en bande assez large. IMELDA est devenue une forte tempête tropicale.

Cette intensification encore un peu laborieuse, semble dès lors trouver son rythme de croisière : alors que le taux d'intensification était demeuré, au cours des 24h précédentes, inférieur à la valeur étalon d'un point de gain en 24h sur l'échelle d'intensité de Dvorak (assimilable à un taux d'intensification normal), il va dépasser ce seuil au cours des 24h suivantes. IMELDA tire ainsi profit de l'amélioration franche de sa situation environnementale, puisque la tempête se retrouve désormais en phase avec une cellule de hauts géopotentiels en altitude, lui procurant à la fois un cisaillement vertical de vent faible et une bonne divergence d'altitude (du côté équatorial tout particulièrement).



*IMELDA when reaching a first intensity peak at the minimal stage of tropical cyclone. An eye in embryo had started to take shape on the visible imagery. Evolving then to the north of the Mascarene Islands, the meteor did not exert any significant influence on the archipelago. Such was not the case for the Agalega Islets, located 240 km to the northwest of IMELDA's centre, which were situated in the direct zone of influence of the phenomenon and that would receive the rains generated by the peripheral bands revolving around the core of the meteor. The relatively slow motion of the latter resulted in the disturbed weather lingering there for almost 72h, 154 mm of rainfall being recorded in the interval, between 9 and 12 April. A longer rain episode, but eventually less prolific in terms of rainfall amount, compared to the two preceding episodes related to DUMILE's and FELLENG's passages.*

*northern side, the easterly windshear had noticeably increased compared to the day before. The only change "favourable" to the system, came from the southern side in the lower layers of the atmosphere where, with the withdrawing of the aforementioned trough, the trade winds gradually settled again, although they first remained very moderate. All considered, those evolutions in the environmental conditions were globally rather "unfavourable" and could potentially prematurely put an end to any preliminary attempt of cyclogenesis. But that was not what the numerical models forecast, as they were still counting on a cyclogenesis to come, but not until several days however. Meanwhile, the real situation, or at least the broad outline given by the satellite imagery, seemed to be in accordance with that prediction, since the embryonic system did not look too severely affected by the relatively hostile environment with which it was confronted. One had*

*to infer that the initial impulse had been sufficient to enable it to maintain itself... and even to keep on deepening slightly (the central pressure being now estimated at 1003 hPa). Thus the system appeared at midday on 4 April, as a well defined low-level circulation, with a low-pressure centre sitting conspicuously in the middle of a small vortex of low clouds partially exposed on the eastern boundary of a still rather fluctuating deep convection. As the equatorial dynamics sustaining the monsoon surge had weakened, the eastward motion had stopped, to give way to a southward drift. And with the rebuilding to come of the subtropical high to the south of the system, a definite swerve of the trajectory towards the west was expected. It was initiated as early as the evening of 4 April. During the next 72h (i.e. until 7 April) there was little evolution of the situation: a rather strong easterly sheared constraint persisted and whereas the low-level*



Météosat 7

11/04/2013 1100 UTC

10/04/2013 1230 UTC

**Première phase d'affaiblissement d'IMELDA.** Après avoir atteint le stade de cyclone tropical la veille, le météore, dont le cœur a "implosé" (comme on le constate en particulier sur l'imagerie micro-onde), subit le contrecoup de la conjugaison d'éléments contraires. A savoir, une contrainte cisaillée modérée (cf. carte ci-dessous), un environnement externe extrêmement sec en moyenne troposphère, en particulier au nord et au nord-est du système, fait très inhabituel, avec des humidités inférieures à 20% (cf. carte ci-dessus du champ d'humidité à 500 hPa analysée par le modèle du Centre européen du 10 avril à 12 utc superposée à l'image vapeur d'eau), mais surtout un effondrement de l'alimentation énergétique en surface du météore, dont ce dernier a lui-même été indirectement à l'origine. C'est, en effet, une conséquence du stationnement sur place d'IMELDA, intervenu entre le 10 et le 11 avril à l'occasion de son changement de trajectoire en direction du sud-est, et qui a eu pour résultat de provoquer un refroidissement drastique de l'océan sous-jacent (dont la température de surface a chuté de 7-8°C d'après les mesures satellitaires – cf. cartes page opposée), vidant le contenu énergétique disponible. Ne pouvant plus être soutenue par un flux d'évaporation en surface pratiquement annihilé et ne pouvant espérer le secours d'une convergence d'humidité dans les couches moyennes, la convection se retrouve littéralement étouffée.

Windshear

11/04/2013 0900 UTC

SSMI Color

11/04/2013 1149 UTC

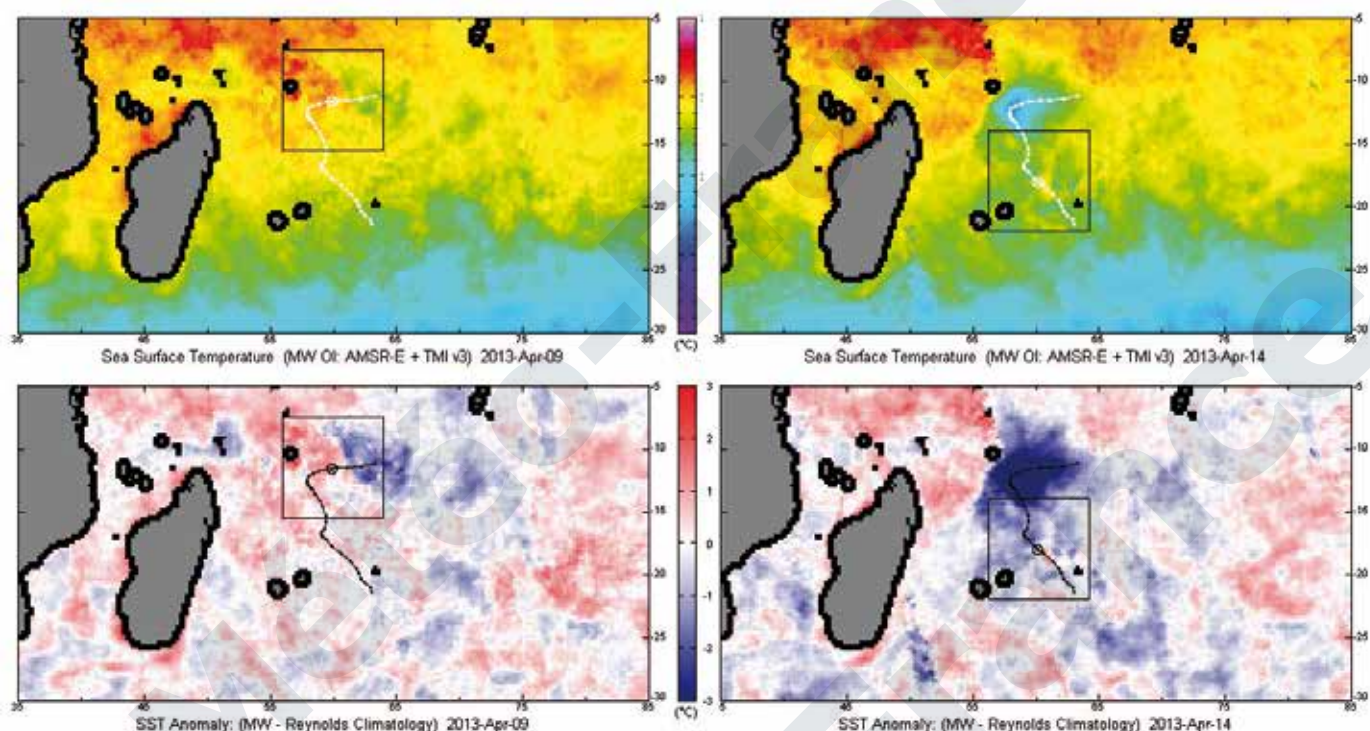
**IMELDA's first weakening phase.** After reaching the stage of tropical cyclone the day before, the meteor whose core had "imploded" (as shown in particular on the microwave imagery), was undergoing the combination of adverse elements. Namely, a moderate sheared constraint (cf. map above), an extremely dry outer environment in mid-troposphere, especially to the north and northeast of the system, a very unusual fact, with a moisture rate below 20% (cf. map of moisture field at 500 hPa analysed by the European Centre's model of 10 April at 12 utc superimposed to the water vapour image – top right), but above all a collapse of the energetic supply at the surface, at whose origin the meteor had itself indirectly been. As a matter of fact, it was a consequence of IMELDA's standstill that had occurred between 10 and 11 April when it changed trajectory towards the southeast, and which resulted in a drastic cooling of the underlying ocean (whose surface temperature dropped by 7-8°C according to the satellite measures – cf. maps opposite page), depriving it of the available heat content. As it could no longer be sustained by the evaporation flux at the surface, which was practically annihilated, and could not expect the help of a moisture convergence in the mid layers, the convection was literally stifled.

convergence remained limited on the monsoon side, that slight deficiency was counterbalanced by a henceforth firmly established trade wind inflow. The system, ranked as a tropical disturbance, was still moving westward, at a moderate motion

speed, swinging between 5 and 10 knots. During all that time, the cloud structure of the system kept more or less the same pattern, the low-pressure centre being yet sometimes exposed, sometimes covered by the clouds, depending on the bursts of

Dans l'après-midi du 10 avril, un œil, encore moyennement bien défini, commence à s'ébaucher sur l'imagerie satellitaire classique. Mais si cette évolution traduit clairement une amélioration de la signature nuageuse, en canal visible en particulier,





et donc la poursuite du processus d'intensification, l'imagerie micro-onde laisse nettement plus dubitatif sur la matérialité de cette amélioration, ou à tout le moins sur l'ampleur du gain réel d'intensité. Elle montre une structure interne ayant beaucoup plus de mal à se consolider, avec un mur de l'œil qui présente une importante faiblesse du côté sud (œil "ouvert" en canal 85 ou 91 GHz). Malgré cela, IMELDA est classé au stade minimal de cyclone tropical en fin d'après-midi.

Le centre du météore se situe à cet instant à quelque 240 km au sud-est des îlots d'Agalega et s'il continue encore pour l'heure sa progression en direction de l'ouest-sud-ouest, sa vitesse de déplacement a été divisée par deux par rapport à la nuit précédente. Ce ralentissement annonce un changement de trajectoire radical à venir, conséquence de la modification majeure qui est en train de s'opérer dans l'environnement synoptique de la perturbation : la puissante dorsale subtropicale qui gouvernait jusque là son déplacement, est en voie d'effondrement en moyenne troposphère, laissant bientôt place à une importante faiblesse dans le champ de pression au sud d'IMELDA, tandis qu'à l'opposé, du côté équatorial, une dorsale gonfle progressivement et ne va pas tarder à prendre le contrôle du flux directeur.

Dans la nuit (du 10 au 11), IMELDA amorce un virage, à vitesse réduite, en direction du sud-est. Ce revirement de trajectoire, s'accompagne dans le même temps d'un renversement de tendance en terme

*convective activity, still highly modulated by the diurnal cycle.*

*From 7 April onwards, the two elements that penalized the system, and delayed its development, became less unfavourable. The sheared constraints tended to abate, a side-effect of the acceleration of the westward motion of the disturbance, which, steered along the northern boundary of the subtropical high of low and mid troposphere, gathered speed up to more than 20 km/h (and even temporarily exceeded 30 km/h during the night of 7 to 8 April, when the low passed abeam of the surface high maximum); that induced de facto a reduction of the easterly vertical windshear (in a relative referential related to the mobile disturbance). Additionally, a resumption of a little more direct low-level convergence could be noticed on the monsoon side. It gave straightaway a new impulse to the convective activity, resulting in the development of a powerful ball of deep convection (of more than 250 km in diameter) during the night of 7 to 8 April, which thus gave the decisive kickstart that enabled cyclogenesis to take shape at last. The meteor was upgraded to the stage of tropical depression, then of moderate tropical storm in the morning of 8 April. The wind data derived from the morning Ascet and Oceansat swaths indeed confirmed the relevance of the change of status, indicating the presence of gale force winds over a significant portion of the clockwise circulation (in its western and northern sectors). Named IMELDA, the disturbance then displayed a curved band organization of the convection.*

## EVOLUTION

However, that first intensification phase remained fragile, as liable to be questioned by the slightest adverse event, related to the trajectory, in particular. A mere slow-down of the westward motion (west-southwestward in fact) could be enough to put the meteor under the pressure of the sheared constraint again. Such was not the case, as the motion speed remained almost 20 km/h until the morning of 9 April, thus enabling the cloud structure to go on consolidating in the meantime, especially near the storm's centre, in the vicinity of which the convection had started to settle, slowly but surely. It would carry on strengthening as the day went by, while getting organized. Towards the end of the afternoon, the microwave imagery confirmed that evolution, revealing the formation of a rather wide incipient banding eye. IMELDA had become a severe tropical storm.

From then on that intensification, still somewhat laborious, seemed to have found its cruising pace: whereas the intensification rate had remained, during the previous 24h, below the standard value of one point gained in 24h on the Dvorak intensity scale (which corresponds to a normal intensification rate), it exceeded that threshold during the next 24h. Thus IMELDA took advantage of the definite improvement of the environmental situation, since the storm was henceforth in phase with an upper cell of high geopotentials, which provided it with both a weak vertical windshear and a good



Aqua  
Modis

Terra  
Modis

13/04/2013 0625 UTC

Metop 2

14/04/2013 0510 UTC

12/04/2013 1010 UTC

NOAA 19

13/04/2013 1027 UTC

Aqua  
Modis

14/04/2013 0956 UTC

Ré-intensification surprise d'IMELDA au voisinage de l'archipel de Saint-Brandon, vue par l'imagerie satellitaire classique et micro-onde (page opposée). Du fait de la vitesse de déplacement extrêmement lente du météore (incluant une phase d'une douzaine d'heures – au cours de la nuit du 13 au 14 avril – durant laquelle celui-ci est resté quasi-stationnaire à proximité sud-ouest de l'archipel), les îlots de la possession mauricienne se sont retrouvés durablement sous l'influence du phénomène, avec des conditions météorologiques très perturbées qui ont perduré pendant plus de 48h.

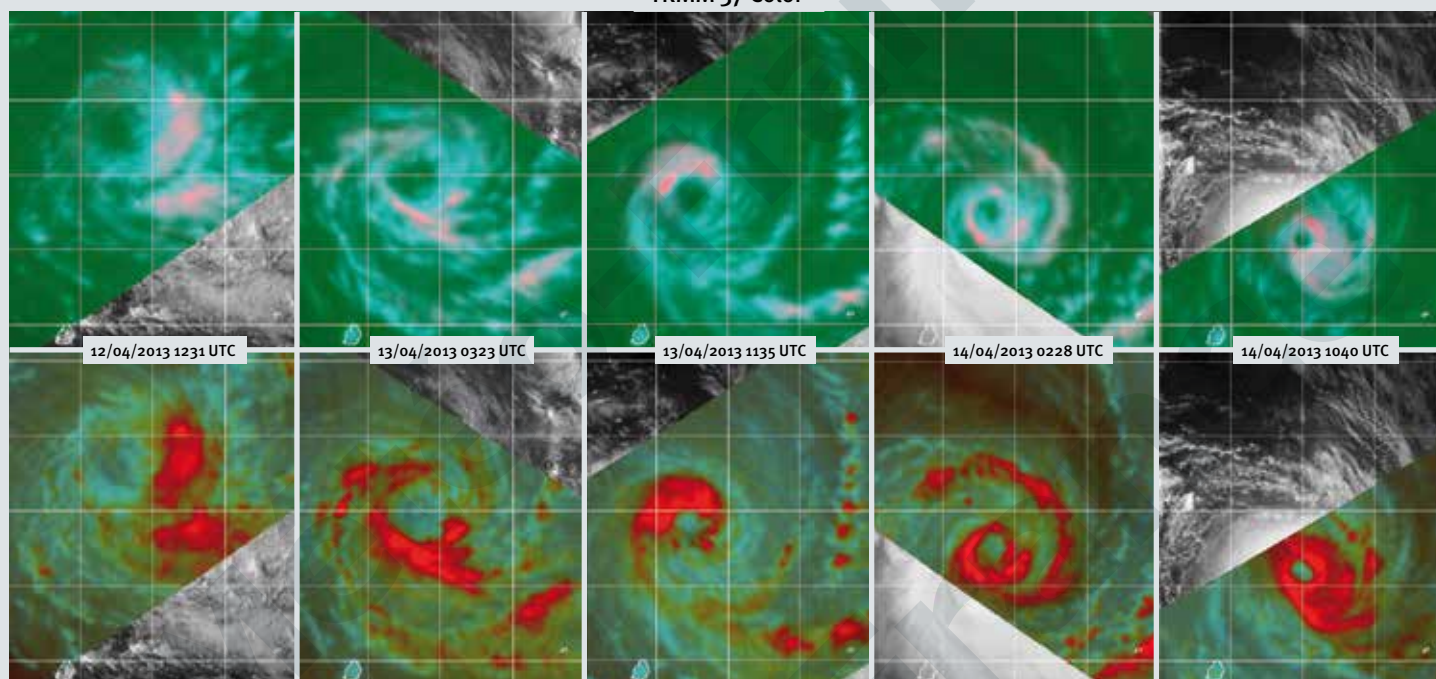
Les conditions les plus dégradées ont sévi entre le 13 et le 14, journées au cours desquelles l'archipel est demeuré en permanence sous ou à proximité immédiate de l'activité convective la plus proche du centre et qui va laborieusement parvenir à se structurer puis se consolider en mur de l'œil le 14. Hormis une accalmie en première partie de journée du 13, durant laquelle la station météorologique basée sur l'îlot Saint-Raphaël s'est retrouvée pendant 8-9h à l'intérieur de la zone de vents faibles centrale, le reste du temps elle a subi sans discontinuer des vents de la force du grand frais ou du coup de vent.

Du fait de l'intensification d'IMELDA et donc du creusement en cours de la dépression associée, le minimum de pression absolu relevé à la station de Saint-Raphaël ne l'a pas été en matinée du 13 avril, au moment du passage au plus près du centre de la tempête (à moins de 45 km au nord-ouest), mais en milieu de nuit suivante (vers 20 utc), quand le centre d'IMELDA était distant de près de 65 km, avec une valeur de 989.6 hPa (en donnée corrigée de la marée barométrique), le maximum de vent ayant été observé un peu auparavant, avec 43 nœuds de vent moyen maximal sur 10-min.

L'épisode pluvieux a été conséquent, avec quasiment 400 mm de précipitations recueillies (en un peu plus de 48h), dont 365 mm tombés en l'espace de 36h et 276 mm en l'espace de 24h.



TRMM 37 Color



TRMM Color

**IMELDA's unexpected re-intensification in the vicinity of the Saint-Brandon**

**imagery.** Owing to the extremely slow motion speed of the meteor (including a phase of about twelve hours – during the night of 13 to 14 April – during which the latter remained quasi stationary near the southwest of the archipelago), the islets of the Mauritian dependency found themselves for quite a while under the influence of the phenomenon, with very disturbed weather conditions that persisted for more than 48h.

The most deteriorated weather conditions occurred between 13 and 14 April, when the archipelago remained permanently under or in the close vicinity of the convective activity which was the nearest to the centre and which would laboriously manage to get structured then to consolidate into an eyewall on 14 April. Apart from a lull during the first part of the day of 13 April, during which the observing station based on the Saint-Raphaël Islet found itself for 8-9h inside the central area of weak winds, the rest of the time it underwent near gale or gale force winds without a break.

As a consequence of IMELDA's intensification and therefore of the ongoing deepening of the associated depression, the absolute minimum of pressure at the Saint-Raphaël station was not recorded in the morning of 13 April, at the nearest passage of the centre of the storm (less than 45 km to the northwest), but in the middle of the ensuing night (at about 20 utc), when IMELDA's centre was almost 65 km away, with a value of 989.6 hPa (corrected from the barometric tide), the maximum winds being recorded a little earlier, with 43 knots of maximum 10-min average winds. The heavy rain episode was quite significant, with almost 400 mm of rainfall recorded (in a little more than 48h), of which 385 mm fell within the space of 36h (and 276 mm in 24h).

**Archipelago, as portrayed by the classic (opposite page) and microwave**

d'intensité. La faiblesse affichée par l'imagerie micro-onde évoquée supra, n'était que le signal précurseur d'un beaucoup plus sévère "coup de bambou" à venir. Au petit matin du 11 avril, on se retrouve, en effet, avec un phénomène dont le système nuageux s'est nettement dégradé par rapport à la veille. L'imagerie micro-onde montre que l'activité convective a quasiment entièrement disparu dans tout le demi-cercle ouest de la circulation nuageuse et qu'il n'y a plus de cœur central constitué : pour un œil averti, il s'agit là de la signature manifeste d'une ventilation d'ouest ayant déstructuré le météore.

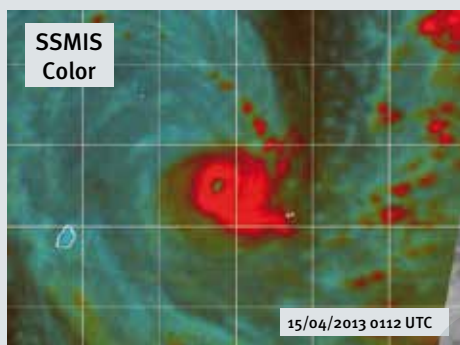
A l'origine de cette ventilation : un décalage vers l'ouest de la cellule de hauts géopotentiels en altitude. L'avant-veille encore complètement en phase avec le cœur d'IMELDA (le 9), elle se retrouve déphasée à l'ouest. De sorte qu'un flux d'ouest-sud-ouest issu de cette cellule anticyclonique, est désormais généré au niveau d'IMELDA, causant cette ventilation dont pâtit la perturbation. On se retrouve, de fait, dans une configuration assez similaire à celle connue lors de l'affaiblissement de

upper divergence (equatorward mainly). In the afternoon of 10 April, an eye, still not very well defined, began to take shape on the classic satellite imagery. But if that evolution clearly indicated an improvement of the cloud signature, on the visible channel in particular, and therefore the fact that the intensification process was still going on, the microwave imagery left one in far greater doubt about the reality of that improvement, or at least about the magnitude of the real gain in intensity. It revealed an inner structure that found it much more difficult to consolidate, with an eyewall exhibiting a significant weakness to the south (eye "open" on channel 85 or 91 GHz). In spite of that, IMELDA was upgraded to the minimal stage of tropical cyclone towards the end of the afternoon. At that time the centre of the meteor was situated some 240 km to the southeast of the Agalega Islets and if for the time being it was still moving west-southwestward, its motion speed had been divided by two compared to the previous night. That slow-down heralded a radical change of track, resulting from the major alteration that

was taking place in the synoptic environment of the disturbance: the powerful subtropical ridge which had been ruling its motion up to then, was about to collapse in mid-troposphere, soon giving way to a significant weakness in the pressure field to the south of IMELDA, while, on the opposite side, equatorward, a ridge was gradually expanding and it was not long before it took control of the steering flow. During the night (of 10 to 11 April), IMELDA veered, at reduced speed, towards the southeast. That tacking about came together with a reversal of tendency in terms of intensity. The weakness exhibited by the afore-mentioned microwave imagery, was nothing but the harbinger sign of a much more severe "bout of fatigue" to come. As a matter of fact, in the morning of 11 April, one ended up with a phenomenon whose cloud system had clearly deteriorated compared to the day before. The microwave imagery showed that the convective activity had almost completely vanished in the whole western semi-circle of the cloud circulation and that there was no more structured inner core. For an experienced

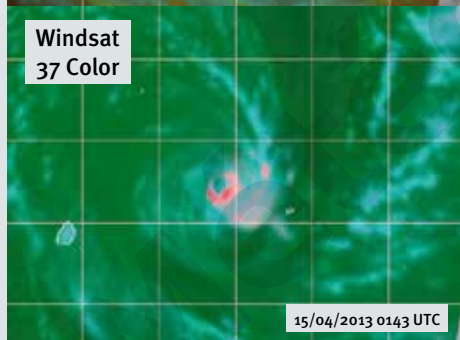


SSMIS  
Color



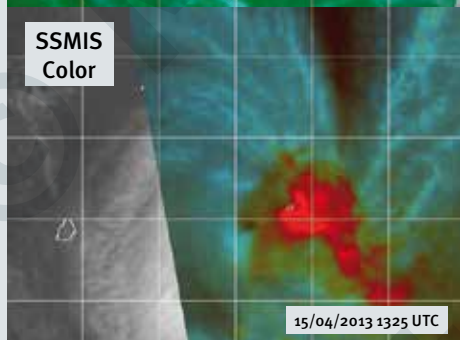
15/04/2013 0112 UTC

Windsat  
37 Color



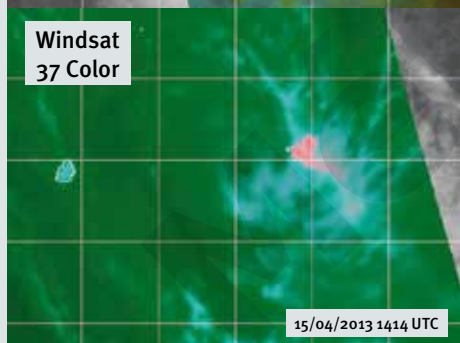
15/04/2013 0143 UTC

SSMIS  
Color



15/04/2013 1325 UTC

Windsat  
37 Color

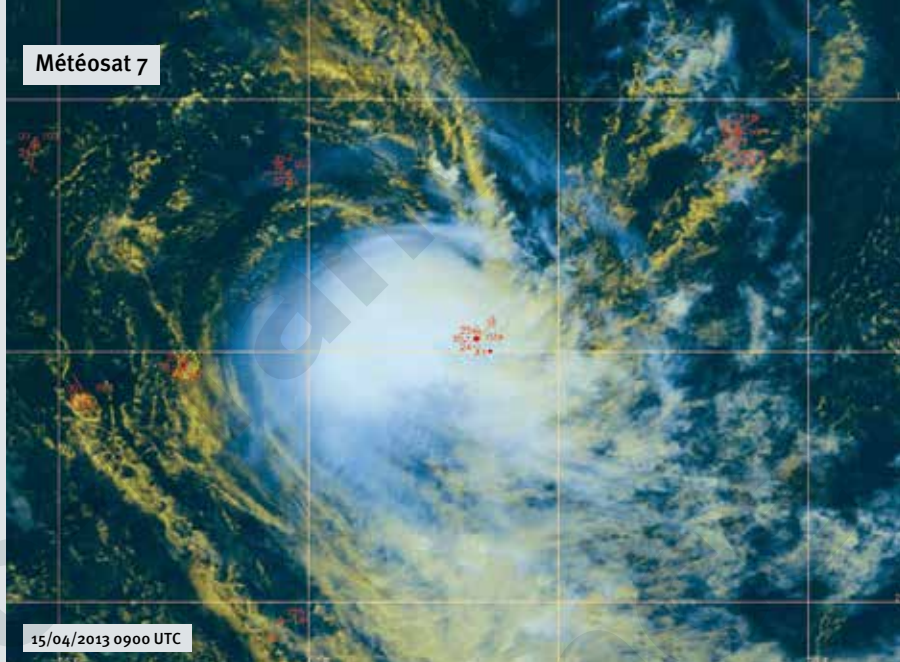


15/04/2013 1414 UTC

*IMELDA's rapid weakening phase during its passage in the vicinity of Rodrigues Island, through the gradual increase of the vertical windshear. In spite of its small size which made it more vulnerable, and owing to a motion heading in the same direction as the sheared constraint, the meteor resisted bravely until dawn on 15 April, when the cyclone still looked well-established and healthy, with a clear-cut eye displayed on the microwave imagery. But IMELDA would then undergo the inexorable impact of the northwesterly upper ventilation, which in less than 24h, would completely shear the cloud system. The cloud pattern exhibited in the afternoon of 15 April was revealing, with the typical aspect of a system about to be sheared (note in particular the characteristic presence of a cirrus bow on the windward side of the cloud mass). From the following morning onward almost nothing will be left of the convective activity and there will remain nothing but a low troposphere residual cloud vortex.*

*In the meantime (during the night of 15 to 16 April) the centre of the meteor had transited at its closest to Rodrigues, some 120 km to the southwest, without really causing any damage to the small Mauritian possession. As a matter of fact, IMELDA's influence and consequences had been limited on the island, thanks to the small size of the system (combined with its weakening phase), with a wind and rain episode which was moreover rather short-lived. Gale force winds were recorded (maximum average winds of 43 knots, for a peak gust of 64 knots – 118 km/h – measured at the Pointe Canon station, above the capital Port Mathurin), while rather moderately heavy rains were observed (in spite of the presence nearby of a few nuclei of very heavy rainfall discernible on the microwave imagery): 84 mm were recorded at Plaine Corail airport (of which 60 mm fell in 6h), for only 58 mm at Pointe Canon.*

Météosat 7

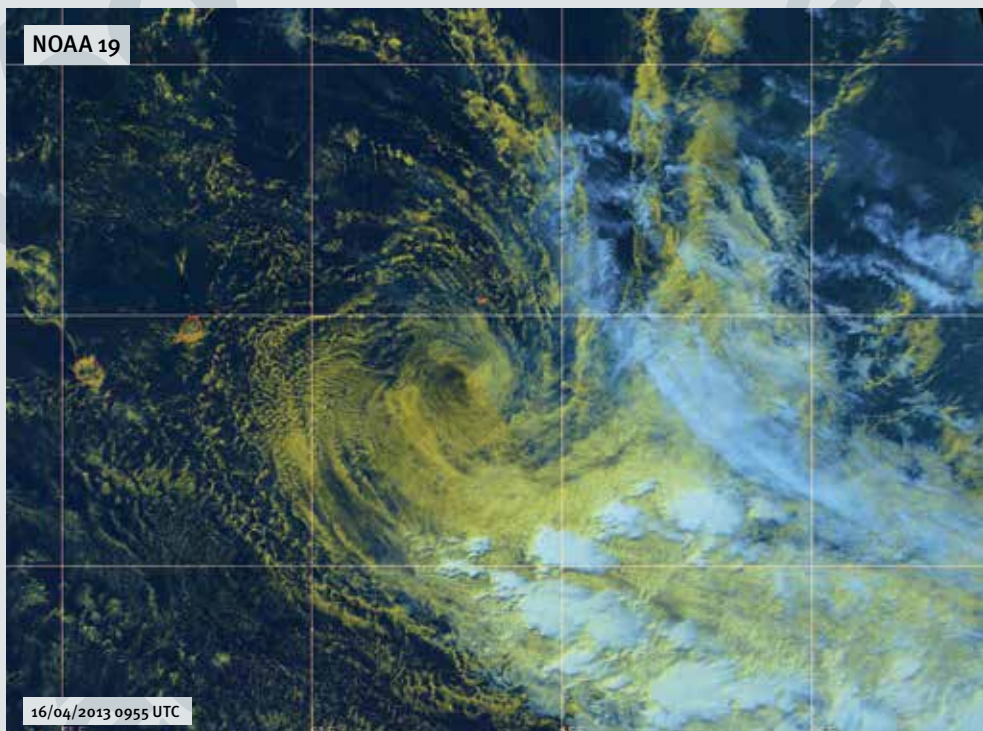


15/04/2013 0900 UTC

**Affaiblissement rapide d'IMELDA lors de son passage à proximité de l'île Rodrigues, par hausse graduelle du cisaillement vertical de vent.** Malgré sa petite taille le rendant plus vulnérable, et à la faveur d'un déplacement dans le même sens que la contrainte cisailée, le météore avait offert une belle résistance jusqu'au petit matin du 15 avril, moment où le cyclone apparaissait encore solidement constitué, avec une belle structure à œil affichée sur l'imagerie micro-onde. Mais IMELDA va ensuite subir l'inexorable impact de la ventilation de nord-ouest en altitude, qui, en moins de 24h, va totalement cisailier le système nuageux. La configuration nuageuse exhibée dans l'après-midi du 15 est révélatrice, avec l'allure typique d'un système en voie de cisaillement (remarquer notamment la présence caractéristique d'un arc de cirrus du côté au vent de la masse nuageuse). Dès le lendemain matin, il ne restera quasiment plus rien de l'activité convective et ne subsistera plus qu'un vortex nuageux résiduel de basse troposphère.

Le centre du météore sera passé entre-temps (dans la nuit du 15 au 16) au plus près de Rodrigues, à quelque 120 km au sud-ouest, sans conséquence réellement dommageable pour la petite possession mauricienne. L'influence et les conséquences d'IMELDA auront, en effet, été limitées sur l'île, du fait de la taille réduite du système (conjuguee à son affaiblissement), avec un épisode venteux et pluvieux qui plus est assez court. Des vents de la force du coup de vent ont été ressentis (vent moyen maxi de 43 nœuds, pour une rafale maximale de 64 nœuds – 118 km/h – mesurés à la station de Pointe Canon, au-dessus de la capitale Port Mathurin), tandis que des pluies de modeste importance ont été observées (malgré la présence à proximité, de quelques noyaux de très fortes précipitations décelables sur l'imagerie micro-onde) : 84 mm ont été recueillis à l'aéroport de Plaine Corail (dont 60 mm tombés en 6h), pour seulement 58 mm à Pointe Canon.

NOAA 19



16/04/2013 0955 UTC



FELLENG et, d'ailleurs, tout aussi mal anticipée par les modèles numériques...

Ayant perdu son éphémère statut de cyclone tropical dès le courant de la nuit du 10 au 11, IMELDA continue de s'affaiblir au fil de la journée du 11 et redevient une simple tempête tropicale modérée dès l'après-midi, moins de 24h après avoir atteint son pic d'intensité. La ventilation et le cisaillement vertical de vent associé, somme toute très modéré (10/15 nœuds d'après les estimations du CIMSS), ne peuvent à eux seuls justifier les déboires d'IMELDA. Il est un autre facteur qui, à l'évidence, a indirectement contribué à accélérer le processus, à savoir la vitesse de déplacement très lente du météore. Dans un contexte de flux directeur en phase de bascule, et donc rendu très "mou", cela fait maintenant 24h que le météore fait quasiment du sur-place (à peine 70 km parcourus durant ce laps de temps – à vol d'oiseau s'entend). En stagnant ainsi sur les mêmes eaux, le cyclone a inévitablement dû impacter le potentiel énergétique sous-jacent. Il apparaît, au vu des données disponibles, que cet impact a été particulièrement fort, l'upwelling causé par le brassage turbulent induit par les vents forts associés à la circulation cyclonique, ayant été extrêmement efficace. Alors que la température de surface de la mer (TSM) dans le secteur était supérieure à 29°C préalablement à l'arrivée d'IMELDA, les analyses satellitaires de TSM effectuées après le passage du météore, indiquent ainsi une chute allant jusqu'à de plus de 6°C, ayant donc fait tomber la température de surface aux alentours de 22-23°C dans la zone de maximum de refroidissement. Il va sans dire qu'avec un tel effondrement de la température de surface, le contenu énergétique océanique disponible a été épuisé très rapidement.

Mais comme si cela ne suffisait pas, il semble qu'un autre paramètre environnemental ait joué défavorablement contre IMELDA, à savoir un assèchement marqué de l'environnement de moyenne troposphère autour du météore. Les analyses fournies par les modèles numériques les 10 et 11 avril (analyses a priori fiables, du fait de la prise en compte dans le cycle d'assimilation de mesures satellitaires beaucoup plus nombreuses et sophistiquées que par le passé – telles celles fournies par l'interféromètre IASI embarqué à bord des satellites défilant européens Metop, en particulier), indiquent ainsi des valeurs d'humidité relative au niveau 500 hPa inférieures à 20% sur la majeure partie de la zone périphérique autour d'IMELDA (et même localement inférieures

observer, it was the obvious signature of a westerly ventilation that had dismantled the meteor.

*At the origin of that ventilation : a westward shift of the upper cell of high geopotentials. Whereas it was still totally in phase with IMELDA's core two days before (on 9 April), it was now out of phase to the west. So that a west-southwesterly flow stemming from the high, was hence-forward generated at IMELDA's level, causing that ventilation from which the storm suffered. One ended up actually, with a configuration that was rather similar to that which occurred during FELLENG's weakening phase and which was, besides, in both cases poorly anticipated by the numerical models...*

*As it had lost its short-lived status of tropical cyclone as early as during the night of 10 to 11 April, IMELDA went on weakening during the day of 11 April and became again a mere moderate tropical storm as early as the afternoon, less than 24h after reaching its intensity peak. The ventilation and the related vertical windshear, very moderate all in all (10/15 knots according to the CIMSS's assessment), could not justify by themselves IMELDA's difficulties. There was another factor which, obviously, had indirectly contributed to accelerating the process, namely the very slow motion of the meteor. In such a context in which the steering flow was in a tipping over stage, and therefore made very slack, the meteor had then been almost stationary for 24h (it had travelled only just 70 km during that lapse of time – as the crow flies naturally). Thus stalling over the same waters, the cyclone had unavoidably impacted the underlying oceanic heat content. It appeared, in view of the available data, that that impact had been particularly important, as the upwelling caused by the turbulent mixing induced by the strong winds associated with the clockwise circulation, had been extremely efficient. Whereas the sea surface temperature (SST) in the sector was above 29°C prior to IMELDA's arrival, the satellite analyses of SST carried out after the passage of the meteor, thus indicated a fall down locally exceeding 6°C, so that the surface temperature had dropped to about 22-23°C in the area of maximum cooling. It goes without saying that as the surface temperature plummeted so drastically, the available oceanic heat content was rapidly exhausted.*

*But as if that was not enough, it seemed that another environmental parameter acted negatively on IMELDA, namely the marked drying process of the mid-troposphere environment that took place around the meteor. The analyses provided by the numerical models on 10 and 11 April (those analyses were a priori reliable due to the fact that many more numerous and sophisticated satellite measures are now assimilated than in the past – such as those provided by the IASI interferometer on board the Metop European polar-orbiting satellites, in particular), thus indicated relative moisture values at 500 hPa below 20% over most of the peripheral area around IMELDA (and even locally below 10% !). Such was the case not only to the southwest of the meteor, the quadrant in which the air mass is traditionally subsident and rather dry ahead of a cyclone in the basin, but also over the whole northern to northeastern sector of the storm. That was quite an unusual configuration, since one is talking here about a sector that is generally associated with the monsoon flow (and such was the case then for IMELDA, including up to 500 hPa and above), and normally combined with a powerful supply of moisture. But in the present case, it was not so, with, on the contrary, an extraordinarily low moisture. It goes without saying that in such a context, the moisture convergence in mid-troposphere must certainly have led to the massive injection of dry air into the core of the clockwise circulation, which contributed to the collapse of the convection.*

*If one considers such a mixture of combined adverse elements, one can better understand the magnitude of the drastic weakening undergone by IMELDA. On the one hand the west-southwesterly ventilation de-structured the inner core of the meteor, but it also contributed to injecting extremely dry air coming from the environment of the disturbance into the clockwise circulation, which took part in the destruction of the convective activity, all the more easily as the latter could not, on the other hand, be sustained by the surface evaporation flux, following the cooling of the underlying waters, thus depriving the system of its energetic supply.*

*The dismantling of IMELDA's cloud structure continued until 12 April during the day, even after the meteor started off again towards the southeast, which*

enabled it to edge away from the area in which the sea had undergone a drastic cooling (that it had indirectly generated). The system had become the mere shadow of its former self: the convection had almost totally vanished, unveiling a low troposphere cloud vortex almost totally exposed and looking very puny. Yet, owing to the fact that it carried on jogging along towards the south-southeast, temporarily at more than 10 km/h during the day of 12 April, the meteor found itself again over warmer waters, with a surface temperature over the 26°C threshold back again. And as at the same time the vertical windshear had reverted to a decreasing trend, one might have expected that the system would recover some impetus, or that at least the degenerative spiral would jam. But such was not the picture depicted by the satellite imagery.

The dry air that had penetrated the core of the system, and which very likely continued to remain ingested, seemed to go on performing its lethal task that should soon stifle the phenomenon irremediably. So that it was henceforth difficult to imagine that a system which seemed to be in such a bad state (with an "imploded" core and a moribund convection), could overcome that critical situation. So much so that the RSMC cyclone forecasters no longer believed in the re-intensification scenario that was still privileged the day before, regarding it as henceforward "very unlikely", nay "ruled out". But one must believe that the adage from Nietzsche: "what doesn't kill you makes you stronger", also applies to tropical cyclones. Because IMELDA would indeed rise from its ashes, an unexpected turnaround situation that should make everyone show more modesty when faced with intensity forecasting which remains such a tricky and hazardous challenge... For the time being, it was a mostly filled system (994 hPa of estimated minimum central pressure), but still ranked as a moderate tropical storm (even though gale force winds were henceforth present only over a portion of the clockwise circulation), which was drawing near the Saint-Brandon Archipelago, on a track that tended to bend gradually more southward. The Mauritian observing station based on the Raphaël Islet, located in the northern part of the archipelago, was ideally situated, almost on the trajectory of the meteor, and would provide precious information for the monitoring of the system during the next two days.

During the night of 12 to 13 April, a little before 18 utc, the wind, which had been blowing up to then at about 30 knots (near

gale force), brutally strengthened up to 38 knots. IMELDA's centre at that time was located about 70 nautical miles (130 km) to the north-northwest of the station and the latter had in fact just been reached by the area of the strongest winds present in the southern and eastern sectors of the clockwise circulation. Those gale force winds were coherent with what the latest Oceansat scatterometer data indicated. During the second part of the night, a resumption of the convective activity could be noticed in the southern, then also in the western sectors, of the cloud circulation. One might wonder whether that revival of strength was only a temporary outburst of convection, as often happens at this time of the diurnal cycle, or the sign that the system was beginning to recover its health. Only a long-lasting confirmation would enable one to know for sure, even if the fact that the convection picked up precisely where the strongest winds were situated, could but favour the inner dynamics of the system, by making it easier for the restructuration of the wind-field to take place around a "real" radius of maximum winds.

During the day of 13 April, the option foreseeing the re-organization of the system quickly materialized. Compared to the day before, the change was obvious, with a robust and durable convective cloud band which was trying to wrap all around the centre, unsuccessfully first, as the northeastern quadrant remained "open". But in the afternoon, some convection managed to develop in the aforementioned sector, enabling an irregular and rather wide eye-like feature to close (it was about one degree in diameter) west and to the immediate vicinity of the St-Raphaël Islet. The latter was eventually avoided by the centre of the disturbance, owing to the fact that the trajectory had bent towards the south-southwest at the beginning of the day, which accounted for the westward transit. Nonetheless, the islet found itself, during the morning and until the beginning of the afternoon, inside the central area of weak winds associated with the inner core of IMELDA (whose centre had passed at the nearest less than 45 km to the northwest in the morning). But after thus enjoying a lull in terms of winds for several hours, the islet found itself again under the convective part and within the area of related strong winds, with gale force winds observed once again (40 knots 10-min average wind at 12 utc). Although IMELDA's centre had begun to edge away slowly, the pressure went on falling on the barometer at the Raphaël station ;

à 10% !). C'était non seulement le cas au sud-ouest du météore, quadrant où la masse d'air est traditionnellement subsidente et assez sèche à l'avant d'un cyclone du bassin, mais aussi dans tout le secteur nord à nord-est de la perturbation, et là il s'agit d'une configuration tout à fait inhabituelle, puisqu'on parle là d'un secteur généralement associé au flux de mousson (et c'était en l'occurrence le cas pour IMELDA, y compris jusqu'au dessus de la 500 hPa), et normalement conjugué à une puissante alimentation humide. Mais dans le cas présent, pas du tout, avec, au contraire, une humidité extraordinairement basse. Il va de soi que dans un tel contexte, la convergence d'humidité en moyenne troposphère a dû aboutir à l'injection massive d'air sec au cœur de la circulation dépressionnaire, qui a contribué à l'effondrement de la convection.

Si l'on considère un tel cocktail d'éléments contraires ligüés, on comprend mieux l'ampleur de l'affaiblissement drastique subi par IMELDA. D'une part la ventilation d'ouest-sud-ouest a déstructuré le cœur central du météore, mais a également participé à injecter au sein de la circulation dépressionnaire de l'air excessivement sec issu de l'environnement de la perturbation, ce qui a contribué à détruire l'activité convective, et ce d'autant plus aisément que celle-ci ne pouvait, d'autre part, plus être soutenue par le flux d'évaporation en surface, par suite du refroidissement des eaux sous-jacentes privant le système de son alimentation énergétique.

Le démantèlement de la structure nuageuse d'IMELDA se prolonge jusqu'en journée du 12 avril, même après le redémarrage en direction du sud-est du météore, lui permettant de s'éloigner de la zone de fort refroidissement de la mer indirectement générée par lui. Le système est devenu l'ombre de lui-même : la convection s'est presque entièrement volatilisée, dévoilant un vortex nuageux de basse troposphère presque totalement exposé et d'apparence bien malingre. A la faveur de la poursuite de son déplacement en direction du sud-sud-est, temporairement à plus de 10 km/h en cette journée du 12 avril, le météore vient pourtant de retrouver des eaux plus chaudes, avec une température de surface à nouveau supérieure à 26°C. Et comme dans le même temps le cisaillement vertical de vent est à nouveau à la baisse, on aurait pu s'attendre à ce que le système retrouve des couleurs, ou qu'a minima la spirale dégénérative soit enrayée. Mais ce n'est pas le tableau que nous dépeint l'imagerie satellitaire.



L'air sec qui a été ingéré au sein du système, et qui continue vraisemblablement de l'être, semble poursuivre son œuvre d'asphyxie létale du phénomène. De sorte que l'on voit désormais mal comment un système qui apparaît aussi mal en point (cœur "implosé", convection moribonde), pourrait se relever d'une telle mauvaise passe. Au point que les prévisionnistes du CMRS ne croient plus au scénario de ré-intensification encore privilégié la veille, le jugeant dorénavant "peu probable", voire "exclu". Mais il faut croire que l'adage Nietzsche : "ce qui ne tue pas, rend plus fort", s'applique aussi aux cyclones. Car IMELDA va bel et bien renaître de ses cendres, un retournement de situation inattendu, nous rappelant à la modestie face à cet exercice parfois ô combien délicat et périlleux, de la prévision d'intensité...

Pour l'heure, c'est un système en grande partie comblé (994 hPa de minimum de pression centrale estimée), mais toujours classé en tempête tropicale modérée (même si le coup de vent n'est désormais plus présent que sur une partie de la circulation dépressionnaire), qui se rapproche de l'archipel de Saint-Brandon, sur une trajectoire qui tend à s'infléchir progressivement plus en direction du sud. La station d'observation mauricienne de l'îlot Raphaël, localisée dans la partie nord de l'archipel, est idéalement située, quasiment sur la trajectoire du météore, et va délivrer de précieuses informations pour le suivi du système au cours des deux jours suivants.

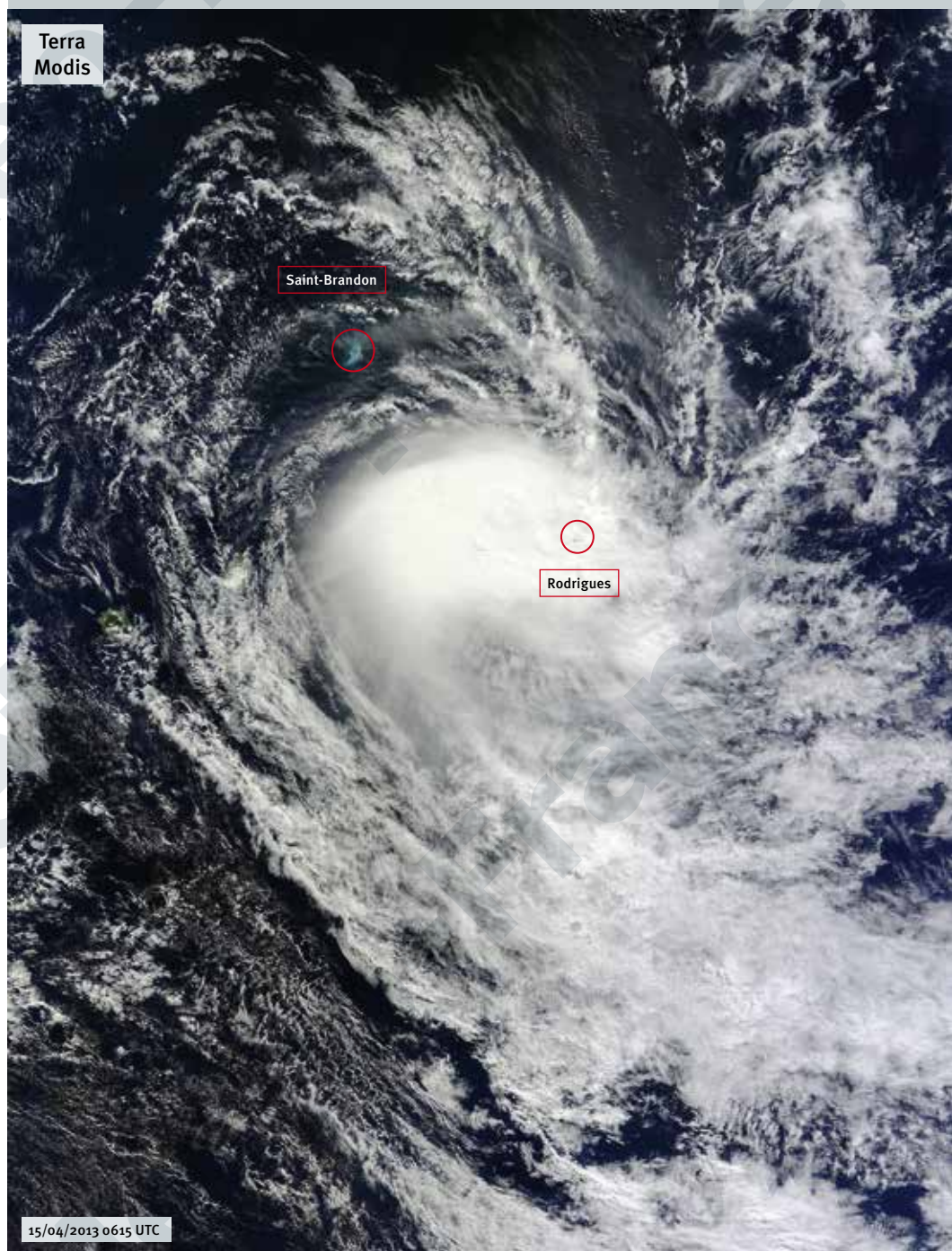
Dans la nuit du 12 au 13, un peu avant 18 utc, le vent, jusque là établi autour des 30 nœuds (grand frais), s'y renforce brutalement, passant à 38 nœuds. Le centre d'IMELDA se situe à cet instant à environ 70 milles nautiques (130 km) au nord-nord-ouest de la station et celle-ci vient en fait d'être abordée par la zone des vents les plus forts présents dans les secteurs sud et est de la circulation dépressionnaire. Ces vents, de la force du coup de vent, sont conformes à ce qu'affichaient les dernières données diffusiométriques Oceansat.

En deuxième partie de nuit, on note une reprise de l'activité convective dans le secteur sud, puis également ouest, de la circulation nuageuse. Ce regain de vigueur marque-t-il une simple flambée temporaire de convection, comme il s'en produit fréquemment à ce moment du cycle diurne, ou le signe que le système commence à se refaire une santé ? Seule une confirmation durable dans le temps permettra d'en avoir le cœur net, même si le fait que la convection reprenne du

*a tangible indication of the ongoing deepening of the depression associated with IMELDA, and therefore of the re-intensification of the meteor, which was actually ranked again as a severe tropical storm in the evening.*

*At the same time, the motion (at less than 10 km/h) towards the south-southwest*

*was halted (it had therefore lasted only 12 hours or so) and IMELDA then remained stuck on the spot for several hours, before starting to drift slowly towards the east-southeast during the second part of the night. That new track "accident" seemed to be an indirect consequence of the tendency reversal in terms of intensity and*



**Affaiblissement d'IMELDA par cisaillement de nord-ouest.** Alors que l'archipel de St-Brandon a retrouvé un ciel dégagé (laissant apparaître les eaux turquoise du lagon), le temps a commencé de se dégrader à l'île Rodrigues, désormais sous les masses nuageuses du météore.

*IMELDA's weakening phase through northwesterly windshear. Whereas the St-Brandon Archipelago had recovered a cloudless sky (unveiling the turquoise water of the lagoon), the weather conditions had begun to worsen in Rodrigues Island, henceforth under the cloud masses of the meteor.*



structure. With the re-intensification of the meteor, the dominant level of the steering flow tended, as a matter of fact, to shift further up, in mid-troposphere, where the synoptic situation was characterized by the presence of an important mid-latitudes trough situated around 50°East and which dug further into the subtropical domain down to the north of latitude 25°South. The subtropical ridge remained non-existent further to the east, while on the other hand the near-equatorial ridge remained fairly strong and was forecast, at short range, to take over the role of dictating the storm's motion, with, consequentially, a new expected change of heading towards the southeast.

But if the intensity may have an influence on the trajectory, the reverse is obviously even more true. In the evening of 13 April, one could witness a new illustration of the complex and often strong interactions there may exist between the motion and the intensity changes: the re-intensification phase that IMELDA had initiated since the end of the previous night, seemed to recede (disappearance of the eye-like feature and evolution towards an embedded centre cloud pattern); the standstill that the meteor had to come to at the same time was probably involved in that situation... But that second standstill session was much shorter than the first one and in the end it turned out to have only a minor impact on the disturbance, namely simply to keep in check the re-intensification process temporarily (via a restriction of the fluxes at the ocean-atmosphere interface). Since IMELDA's resuming its motion at dawn on 14 April, and starting off again towards the southeast, quickly put an end to the momentary hindrance. The storm was then given again every latitude for developing. And as the purely atmospheric environmental conditions allowed it elbow room to intensify, in any case on a short term basis, with a time window of weak vertical windshear (but which was to close rather rapidly) and an upper outflow channel favoured poleward, it would not miss the opportunity to take advantage of having regained its freedom to manoeuvre, fully developing during the day of 14 April. As a matter of fact, after the weak spell observed during the previous night, the rebound was spectacular in terms of organization and structure. Within the space of 2-3h only, an eye swiftly rebuilt at the beginning of the day, with a radius of maximum winds notably reduced compared to the day before and which went on shrinking during the rest of the day. IMELDA became a tropical cyclone

again before the end of the morning. It was then estimated that the absolute maximum of intensity had been reached in the evening of 14 April, when the meteor exhibited its best satellite signature on the classic imagery. Around the well-defined eye of about 65 km in diameter, the maximum 10-min average winds were then evaluated at 80 knots (a little less than 150 km/h). The centre of the cyclone had just crossed latitude 18°South and went on tracking southeastward (at less than 15 km/h), drawing nearer Rodrigues Island, which was only 375 km away. But the vertical windshear, which was forecast to increase on approaching latitude 20°South, led one to hope that a weakening of the meteor would take place before the passage at the nearest.

The first harbinger signs of the sheared constraint to come appeared first on the microwave imagery, as early as the first part of the night of 14 to 15 April, with an incipient erosion of the eyewall visible on its portion located windward of the northwesterly upper ventilation. However, that weakness of the deep convection displayed, looked more or less marked on the next successive images, the observed fluctuations thereby revealing an encroachment of the sheared constraint still in its infancy. So that the core of the meteor managed to resist rather well until the end of the night, with an eyewall which even looked solidly rebuilt on the SSMIS imagery at the beginning of the day of 15 April (see image of 0112 utc — top left of page 94). In addition to the nocturnal convection cycle, the slight acceleration of the motion observed during the previous hours, seemed to have contributed to the renewed vitality of the meteor. Because what had for the time being delayed a more conclusive hold of the sheared constraint, was actually the fact that the meteor was moving in the same direction as the upper ventilation, which accordingly limited the relative impact of the latter. But that was only a temporary respite. Confronted with a more and more insistent northwesterly upper flow, the meteor could not resist much longer. And IMELDA's swan song was indeed followed by a quick decay. As soon as the ventilation exceeded the critical tolerance threshold, which became the case at the beginning of the morning of 15 April, when the vertical windshear was estimated to have risen to 20 knots, it ended up penetrating the core of the system. The cloud pattern exhibited in the morning of 15 April was unambiguous in this respect, as it was typical of a phenomenon undergoing an incipient northwesterly windshear phase.

poil de la bête là où justement se situent les vents les plus forts, ne peut que favoriser la dynamique interne du système, en promouvant la restructuration du champ de vents autour d'un "vrai" rayon des vents maximaux.

En journée du 13, l'option ré-organisation du système prend rapidement corps. Par rapport à la veille, le changement est manifeste, avec une bande nuageuse convective robuste et pérenne qui tente de s'enrouler tout autour du centre, sans y parvenir dans un premier temps, le quadrant nord-est demeurant "ouvert". Mais dans l'après-midi, de la convection réussit à se développer dans ce dernier secteur, permettant la fermeture d'un pseudo-œil irrégulier assez large (faisant environ un degré de diamètre) dans l'ouest immédiat de l'îlot St-Raphaël.

Celui-ci a finalement été évité par le centre de la perturbation, du fait d'une incurvation de la trajectoire en direction du sud-sud-ouest intervenue en début de journée, et qui explique ce transit à l'ouest. L'îlot s'est tout de même retrouvé, durant la matinée et jusqu'en début d'après-midi, à l'intérieur de la zone centrale de vents faibles associée au cœur d'IMELDA (dont le centre est passé au plus près à moins de 45 km au nord-ouest en matinée). Mais après avoir ainsi connu une accalmie des vents de plusieurs heures, l'îlot vient de repasser sous la partie convective et dans la zone de vents forts associés, avec du coup de vent à nouveau observé (40 nœuds de vent moyen à 12 utc). Bien que le centre d'IMELDA ait commencé de lentement s'éloigner, la pression continue toutefois de baisser sur le baromètre de la station mauricienne basée sur place ; un indice tangible du creusement en cours de la dépression associée à IMELDA et donc de la ré-intensification du météore, qui est de fait reclassé en forte tempête tropicale en soirée.

Au même moment, le déplacement (à moins de 10 km/h) en direction du sud-sud-ouest cesse (il n'aura donc duré qu'une douzaine d'heures) et IMELDA stationne ensuite sur place pendant plusieurs heures, avant d'amorcer une lente dérive vers l'est-sud-est en deuxième partie de nuit. Ce nouvel aléa de trajectoire semble être une conséquence indirecte du renversement de tendance en terme d'intensité et de structure. Avec la ré-intensification du météore, le niveau dominant du flux directeur tend, en effet, à remonter plus en moyenne troposphère, où la situation synoptique est caractérisée par la présence d'un important talweg

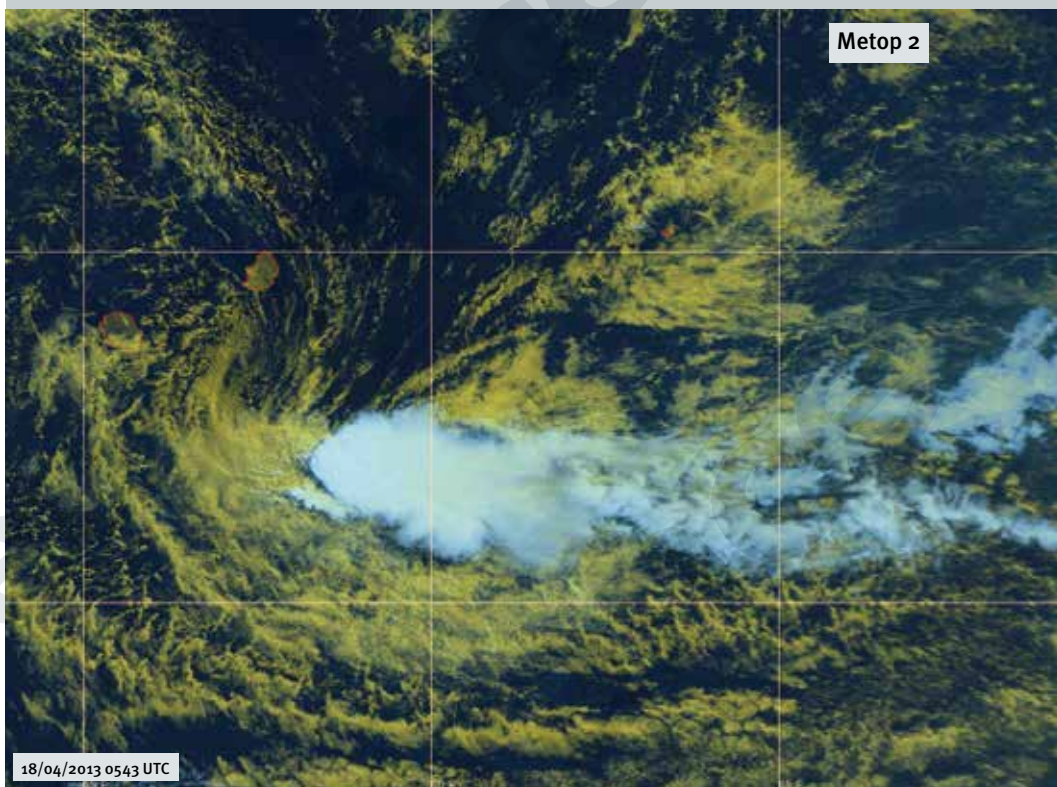


des moyennes latitudes situé vers 50°Est et qui s'enfonce vers le domaine tropical jusqu'au nord de 25°Sud. La dorsale subtropicale demeure inexistante plus à l'est, mais par contre la dorsale proche-équatoriale reste bien marquée et c'est elle qui est prévue, à court terme, reprendre la main sur le déplacement du météore, avec, à la clé, un nouveau changement de cap attendu vers le sud-est.

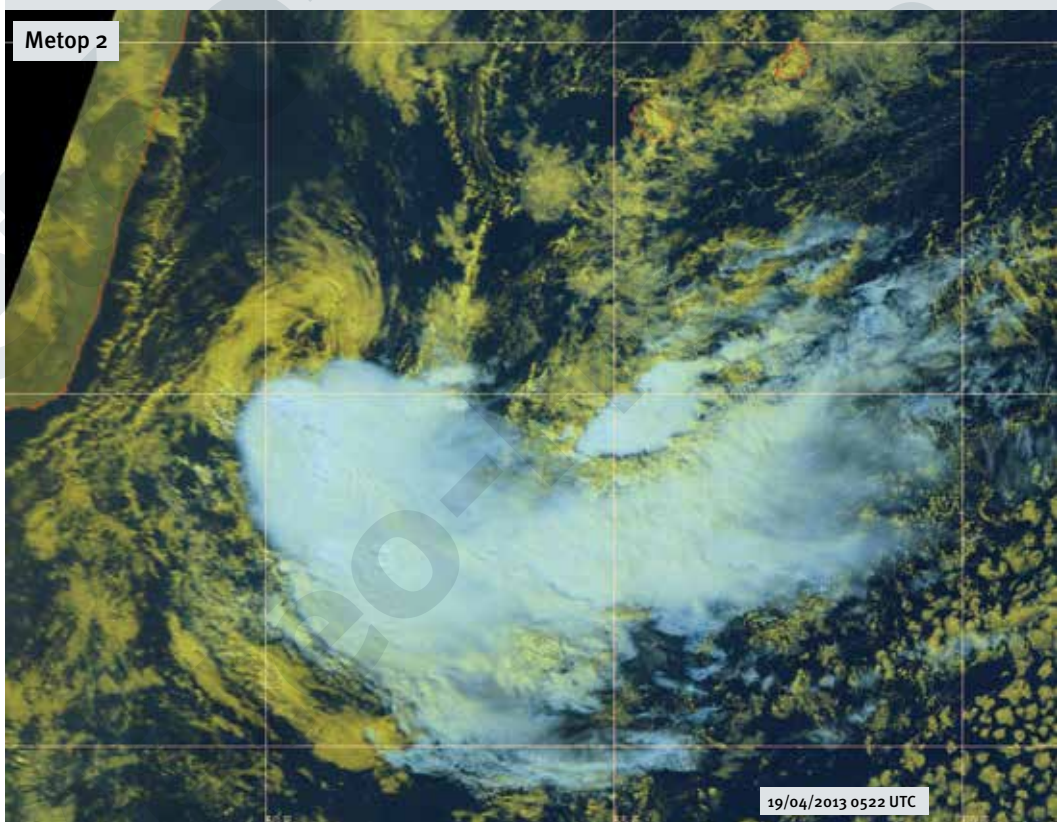
Mais si l'intensité peut jouer sur la trajectoire, la réciproque est évidemment encore plus vraie. L'on a droit à une nouvelle illustration de ces interactions complexes, mais souvent fortes, pouvant exister entre déplacement et changements d'intensité, en soirée du 13 : la phase de ré-intensification amorcée depuis la fin de nuit précédente par IMELDA, semble alors marquer le pas (disparition du pseudo-œil et évolution vers une configuration en centre noyé sous la masse nuageuse) ; l'immobilisation subie par le météore au même moment n'étant probablement pas étrangère à cet état de fait...

Mais cette seconde séance de "surplace" est nettement plus courte que la première et s'avère in fine n'avoir qu'un impact minime sur la perturbation, à savoir simplement brider de manière temporaire le processus de ré-intensification (via une restriction des flux à l'interface océan-atmosphère). Car la remise en marche d'IMELDA qui intervient à l'aube du 14, avec redémarrage en direction du sud-est, met rapidement fin à ce bridage momentané et la tempête retrouve alors toute sa latitude de développement. Et comme les conditions environnementales purement atmosphériques lui laissent les coudées franches pour s'intensifier, en tout cas à courte échéance, avec une fenêtre de cisaillement vertical de vent faible (mais qui devrait toutefois se refermer assez vite) et une évacuation du flux sortant d'altitude favorisée du côté polaire, elle ne va pas se priver de mettre à profit cette liberté de manœuvre retrouvée, s'épanouissant pleinement au fil de cette journée du 14 avril.

De fait, après le coup de moins bien observé la nuit précédente, le rebond est spectaculaire en terme d'organisation et de structure. En l'espace de 2-3h de temps seulement, un œil se reconstitue prestement en début de journée, avec un rayon des vents maximaux sensiblement réduit par rapport à la veille et qui va continuer d'aller en se contractant le reste de la journée. IMELDA redevient cyclone tropical avant la fin de matinée. Le maximum absolu d'intensité est ensuite estimé atteint en soirée de ce



**Fin de vie d'IMELDA au sud-ouest des Mascareignes.** Bien qu'en phase de comblement avancée, l'ex-cyclone tropical conservera quelque activité nuageuse et venteuse avant de se dissiper définitivement. Les hautes pressions subtropicales, en bordure septentrionale desquelles la dépression résiduelle est canalisée, entretiendront, en effet, à la fois un fort gradient de pression, maintenant ainsi des vents assez forts (temporairement de la force du coup de vent) au sud du système, et, par effet de convergence, une activité nuageuse et localement orageuse non négligeable, qui aurait pu affecter notablement les îles sœurs de Maurice et de La Réunion, si la trajectoire avait été décalée de 100 à 150 km plus au nord.



**End of IMELDA's life-cycle to the southwest of the Mascarene Islands.** Although it was in a well-advanced filling phase, the ex-tropical cyclone would keep some cloud and wind activity before dissipating for good. The subtropical high, on whose northern boundary the remnant low was steered along, actually sustained both a tight gradient of pressure, thus maintaining rather strong winds (temporarily of gale force) to the south of the system, and by convergence effect, some not insignificant cloud and locally thunderstorm activity, which might have notably affected the sister islands of Mauritius and La Réunion, had the trajectory been displaced by 100 to 150 km farther to the north.



*The weakening initiated in the morning quickened its pace from the afternoon onwards. Downgraded to the stage of severe tropical storm, IMELDA was reduced to the rank of moderate tropical storm during the first part of the night of 15 to 16 April, a little while after crossing latitude 20°South, then of mere tropical depression at the end of the night. During that quick weakening phase (the maximum wind associated with the storm was estimated to have fallen by almost 50 knots in 24h), the meteor skirted round Rodrigues Island from the west, then the southwest, its centre remaining more or less at the same distance during all that lapse of time (i.e. a little more than 120 km off shore). At dawn on 16 April, the convection had almost been totally "blown off", so that the residual central vortex of low and mid-level clouds could be clearly seen, just to the south of Rodrigues Island. If what would henceforth be proper to call tropical depression ex-IMELDA, was at that very moment still heading towards the southeast, it was not for long, as with the steering flow ruled from then on by the lower layers of the atmosphere, the system would slow down, then wander for 24h within an area associated to a barometric col present between two high pressure cells positioned to the southwest and the southeast of the disturbance. Ex-IMELDA initiated a loop, at reduced speed, some 150 km to the south-southwest of Rodrigues, but before completing it, it eventually started off again on an accelerated trajectory towards the west-southwest, classically caught up and carried along the northern boundary of the subtropical high that was rebuilding to the south. On that new track, the system went on filling gradually and transited to the south of Mauritius Island in the morning of 18 April (110 km off shore), then in the southern vicinity of La Réunion in the evening (at less than 50 km), without any particular consequences for the two sister islands. Situated on the safe side of the trajectory, they avoided the southern semi-circle of the residual circulation, which concentrated both the active cloud masses (cf. images of 18 and 19 April previous page) and the strong winds still present in the zone of high gradient of pressure with the subtropical high. Skirting around the latter, the residual vortex progressively headed towards the southwest and eventually dissipated definitively off the southeast coast of Madagascar, after an eventful trip of almost 18 days of life span.*

14 avril, moment où le météore affiche sa meilleure signature satellitaire sur l'imagerie classique. Autour de l'œil bien défini d'environ 65 km de diamètre, les vents maximaux moyens sur 10-min sont alors évalués à 80 nœuds (un peu moins de 150 km/h).

Le centre du cyclone vient de franchir le 18<sup>ème</sup> parallèle Sud et poursuit sa progression en direction du sud-est (à moins de 15 km/h), se rapprochant de l'île Rodrigues, dont il n'est plus distant que de 375 km. Mais un renforcement du cisaillement vertical de vent est prévu à l'approche du 20<sup>ème</sup> parallèle Sud et permet d'espérer un début d'affaiblissement du météore avant le passage au plus près.

Les premiers signes précurseurs de cette contrainte cisailée à venir, se manifestent d'abord sur l'imagerie micro-onde, dès le début de nuit du 14 au 15, avec un début d'érosion du mur de l'œil visible du côté au vent de la ventilation de nord-ouest en altitude. Cette faiblesse affichée au niveau de la convection profonde, apparaît cependant plus ou moins marquée au fil des images suivantes, les fluctuations observées traduisant un empiétement de la contrainte cisailée qui n'en est encore qu'à ses balbutiements. De sorte que le cœur du météore parvient à résister assez bien jusqu'en fin de nuit, avec un mur de l'œil qui apparaît même solidement reconstitué sur l'imagerie SSMIS du début de journée du 15 (voir image de 0112 utc en haut de page 94). Outre le cycle nocturne de la convection, la légère accélération du déplacement observée au cours des heures précédentes, semble avoir participé de ce regain de vitalité. Car ce qui a pour l'instant retardé une emprise plus probante de la contrainte cisailée, c'est bien le fait que le météore se déplace dans le même sens que la ventilation d'altitude, ce qui limite d'autant l'impact relatif de cette dernière. Mais il ne s'agissait là que d'un sursis temporaire. Face à un flux de nord-ouest en altitude de plus en plus pressant, le météore ne pourra pas tenir bien longtemps. Et au chant du cygne d'IMELDA va effectivement succéder une dégénérescence rapide. Dès lors que la ventilation dépasse le seuil critique tolérable, ce qui devient le cas en début de matinée du 15 avril, quand le cisaillement vertical de vent est estimé atteindre les 20 nœuds, elle finit par pénétrer au cœur du système. La configuration nuageuse exhibée au matin du 15 est à cet égard sans ambiguïté, présentant une allure caractéristique d'un phénomène en début de phase de cisaillement de nord-ouest.

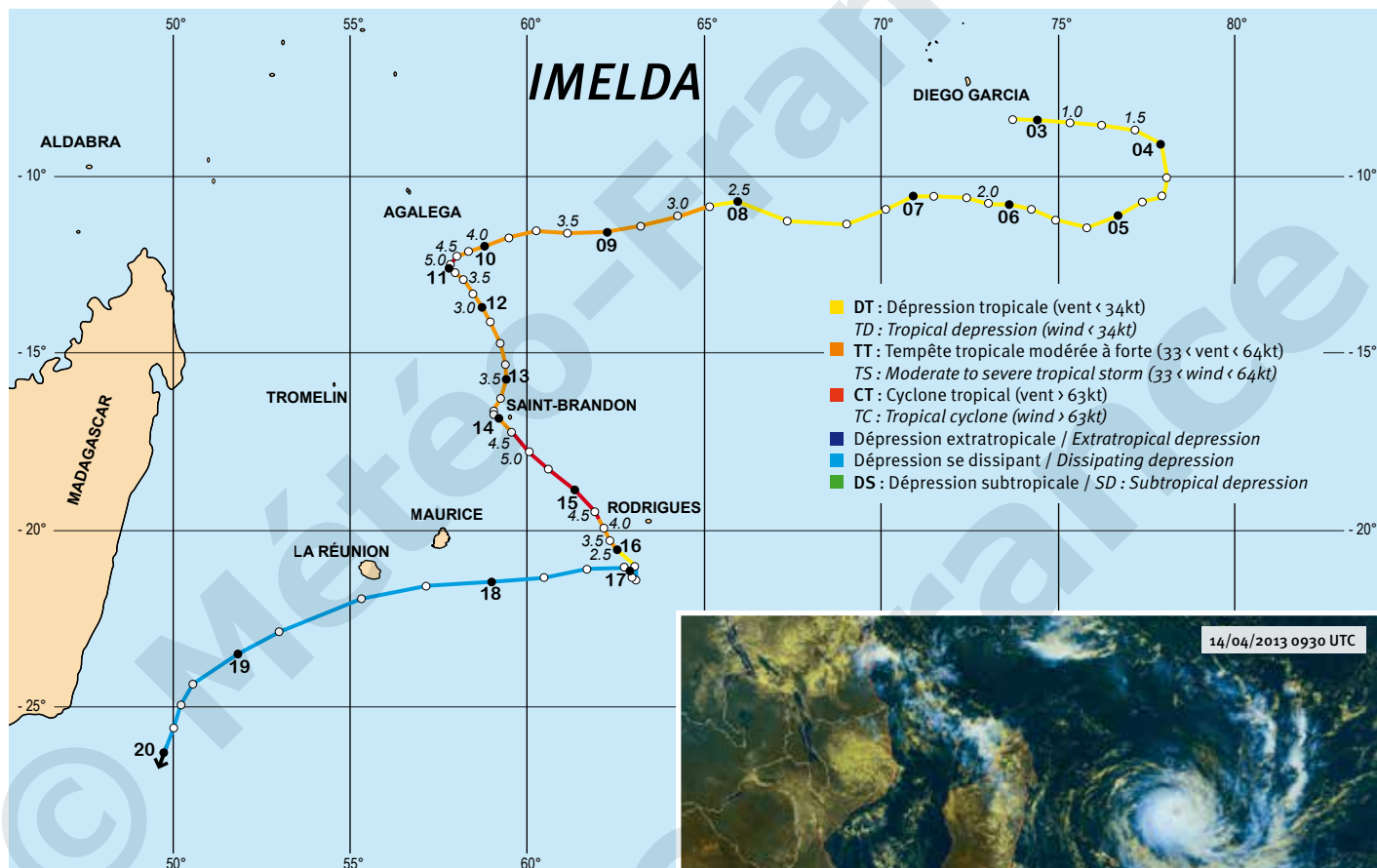
L'affaiblissement initié en matinée s'accélère franchement à partir de l'après-midi.

Déclassée en forte tempête tropicale, IMELDA est rétrogradée en tempête tropicale modérée en première partie de nuit du 15 au 16 avril, peu après avoir franchi le 20<sup>ème</sup> parallèle Sud, puis en simple dépression tropicale en fin de nuit. Durant cette phase d'affaiblissement rapide (le vent maximal associé à la perturbation étant estimé chuter de près de 50 nœuds en 24h), le météore contourne l'île Rodrigues par l'ouest, puis le sud-ouest, son centre demeurant peu ou prou à la même distance de l'île pendant tout ce laps de temps (soit à un peu plus de 120 km au large).

Au petit matin du 16, la convection a quasiment été "soufflée" en totalité, de sorte que l'on distingue parfaitement le vortex central résiduel de nuages bas et moyens, juste au sud de l'île Rodrigues. Si ce qu'il convient désormais d'appeler la dépression tropicale ex-IMELDA, fait encore route à cet instant en direction du sud-est, ce n'est plus pour longtemps, car avec un flux directeur dorénavant dicté par les basses couches de l'atmosphère, le système va ralentir, puis errer durant 24h au sein d'une zone de col barométrique existant entre deux cellules anticycloniques positionnées au sud-ouest et au sud-est de la perturbation. Ex-IMELDA amorce, à vitesse réduite, une petite boucle à quelque 150 km au sud-sud-ouest de Rodrigues, mais avant de l'avoir entièrement complétée, il repart finalement sur une trajectoire accélérée en direction de l'ouest-sud-ouest, classiquement repris et entraîné le long de la façade nord des hautes pressions subtropicales, qui se reconstituent au sud.

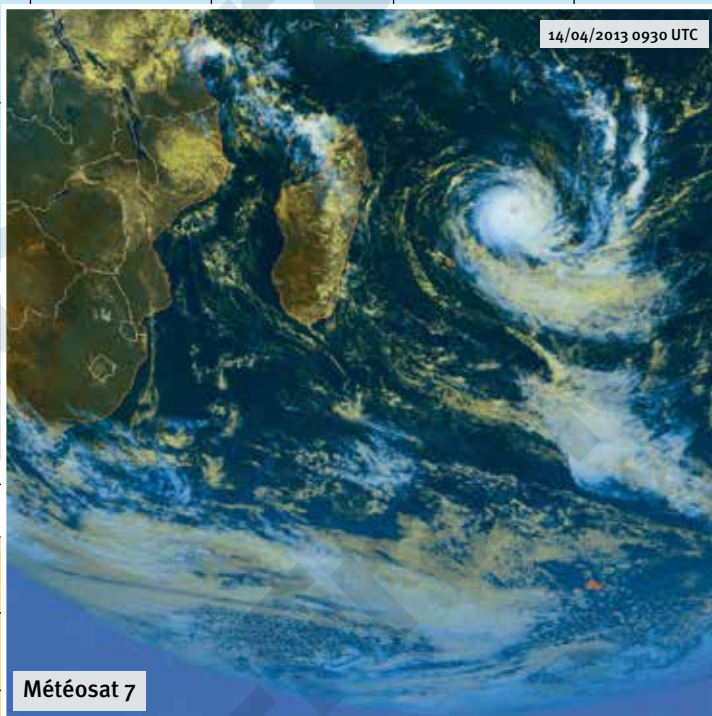
Sur cette nouvelle trajectoire, le système continue de se combler progressivement et transite en matinée du 18 au sud de l'île Maurice (à 110 km), puis en soirée à proximité sud de La Réunion (à moins de 50 km), sans aucune conséquence particulière pour les deux îles sœurs. Situées du bon côté de la trajectoire, elles ont échappé au demi-cercle sud de la circulation résiduelle, qui concentrait à la fois les masses nuageuses actives (cf. images des 18 et 19 avril page précédente) et les vents forts encore présents dans la zone à fort gradient de pression avec les hautes pressions subtropicales. Contournant ces dernières, le vortex résiduel oriente progressivement sa course vers le sud-ouest et se dissipe définitivement dans le domaine tropical au large des côtes sud-est de Madagascar, après un périple à rebondissements de quasiment 18 jours d'existence.





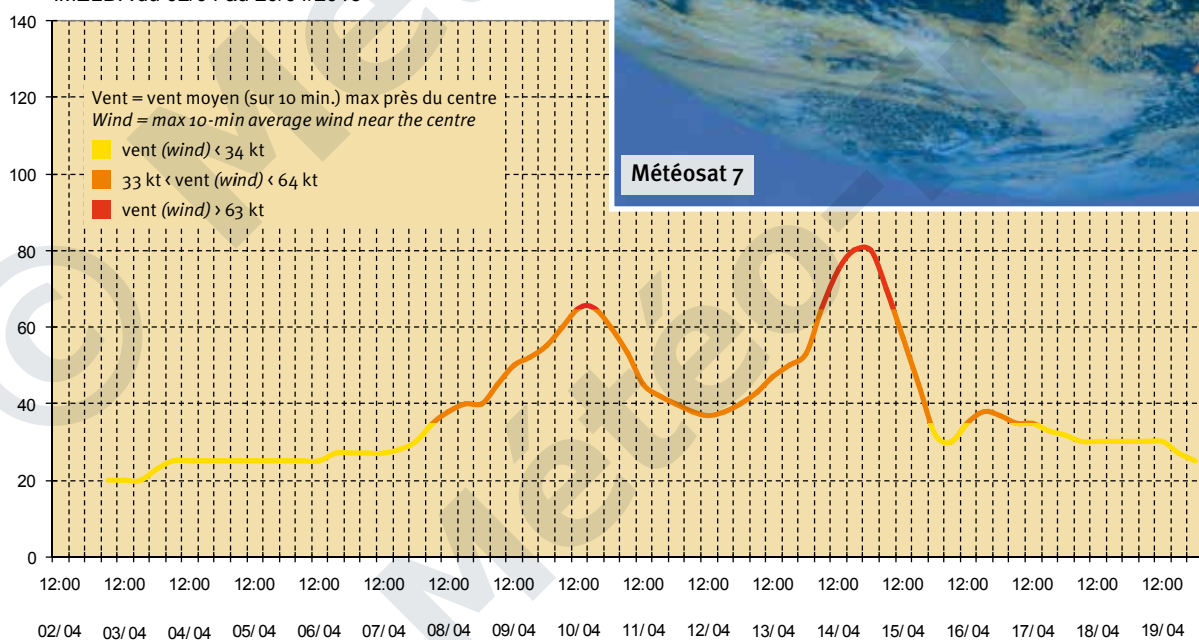
**IMELDA, en phase de ré-intensification au nord de l'archipel des Mascareignes.**  
Le météore vient de regagner le statut de cyclone tropical et atteindra son maximum absolu d'intensité la nuit suivante.

**IMELDA, while re-intensifying to the north of the Mascarene Archipelago.**  
The meteor had just recovered its status as a tropical cyclone and would reach its absolute maximum of intensity the following night.



Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

IMELDA du 02/04 au 20/04/2013



## Tempête Tropicale Modérée du 7 au 16 mai 2013

*Moderate Tropical Storm "Jamala" (7-16 May 2013)*



### FORMATION

Certes pas aussi tardif qu'avait été KUENA lors de la saison précédente, le dernier système de la saison 2012-2013 aura aussi connu une occurrence tardive. Survenant près de trois semaines après la disparition d'IMELDA, l'émergence du futur JAMALA est à mettre en relation avec la dynamisation de l'activité convective et perturbée impulsée dans la zone proche-équatoriale par une activation notable des ondes équatoriales couplées à la convection et modulant l'activité de cette dernière à l'échelle intra-saisonnière. Sont ainsi identifiées conjointement, fin avril-début mai, une onde de Kelvin se propageant depuis l'ouest et surtout une phase active de la MJO (Oscillation de Madden-Julian) se développant sur l'océan Indien. Lorsque de telles poussées de la MJO surviennent en période d'inter-saison (lors des mois de mai et novembre typiquement), cela contribue souvent à créer les conditions propices au déclenchement de cyclogenèses jumelles de part et d'autre de l'Equateur. C'est une nouvelle fois ce qui va se produire lors de cet événement de mai 2013, débouchant sur la formation des tempêtes tropicales JAMALA, dans l'hémisphère Sud, et VIYARU (originellement dénommé MAHASSEN), dans l'océan Indien Nord (Golfe du Bengale). Les deux phénomènes n'ont toutefois pas été générés concomitamment. Initialement, c'est en effet du côté sud de l'Equateur que l'activité perturbée a semblé devoir se focaliser. Répondant au classique renforcement des vents d'ouest équatoriaux associé à la pulsation de la MJO, l'activité nuageuse et convective s'est sensiblement renforcée dans les premiers jours du mois de mai sur la partie centrale de l'océan Indien. Un

contexte favorable à la cyclogenèse commence à se mettre en place et cela n'a pas échappé aux modèles numériques de prévision, qui, dès le 4 mai, indiquent une probabilité tout à fait significative de cyclogenèse à moyenne échéance.

Le 6 mai, une circulation dépressionnaire élongée commence à se dessiner au sein du talweg proche-équatorial, sur l'extrême nord-est de la zone de responsabilité du CMRS de La Réunion, autour d'un minimum de basses pressions estimé à 1006 hPa et localisé vers 4°Sud/88°Est. Une zone d'activité convective persistante, bien que fluctuante, lui est associée, au sein de laquelle on note déjà la présence de quelques courbures nuageuses. La journée suivante ne marque pas d'évolution significative et il faut attendre la journée du 8 pour constater un gain d'organisation : sur l'imagerie satellitaire, une circulation de basses couches est désormais clairement esquissée, dans le quadrant sud-ouest de laquelle la convection s'est densifiée et pour l'essentiel regroupée ; une configuration de début de vie classique, dénotant toutefois l'existence d'un cisaillement vertical de vent d'est à nord-est assez fort.

Malgré une structure nuageuse qui ne paye pas de mine, il apparaît cependant que le champ de vents en surface est plus affirmé qu'on aurait pu le supposer de prime abord au simple vu de la signature nuageuse. L'examen des vents dérivés des données diffusiométriques Ascat et Oceansat, montre ainsi qu'hormis une faiblesse importante dans la partie est, des vents assez forts, atteignant localement la force du grand frais, sont présents sur la majeure partie de la circulation dépressionnaire. Ce constat amène à considérer qu'un classement en dépression tropicale pouvait se justifier dès la mi-journée du 8.

### EVOLUTION

Alors que le système se décalait jusque là en direction de l'ouest-sud-ouest, un changement abrupt de trajectoire vient de s'opérer, avec un virement de cap en direction du sud-est à sud-sud-est. Se déplaçant à vitesse très modérée (environ 8 km/h), le centre de la dépression repasse ainsi à l'est du 85ème méridien Est en soirée de ce 8 mai.

Ce changement de trajectoire tend à rapprocher le météore de la dorsale d'altitude, mais sa situation environnementale n'en a pas pour autant été fondamentalement modifiée ; le système continue d'évoluer dans le secteur nord-ouest de cette dorsale, et reste en conséquence soumis à un flux unidirectionnel d'est à nord-est qui maintient une forte contrainte cisailée (estimée à 30 nœuds par le CIMSS). Malgré cette sujétion a priori rédhibitoire pour permettre un développement quelconque du phénomène, celui-ci fait mieux que résister. Le découplage entre la circulation de basses couches et l'amas de convection principal n'augmente pas, le centre dépressionnaire demeurant à proximité est de celui-ci, la distance de séparation fluctuant simplement au gré des pulsations d'activité convective induites par le cycle diurne, un cas de figure habituel dans les situations de configuration nuageuse durablement cisailée. A la faveur de la classique poussée de convection nocturne, le minimum dépressionnaire se retrouve même temporairement occulté sous la bordure orientale de la convection en début de journée du 9.

Il n'est pas toujours évident de savoir si ces "respirations" de la convection, et les pseudo "allers et retours" qu'ils entraînent au-dessus ou à côté du centre de la circulation de basses couches, ont le temps ou pas d'impacter le minimum dépressionnaire, en favorisant un creusement temporaire (ou pas d'ailleurs). En l'occurrence, il semblerait que oui. C'est en tout cas ce que laissent accréditer les champs de vents diffusiométriques issus des orbites successives Ascat et Oceansat acquises jusqu'en milieu de journée du 9 mai. Elles valident clairement un renforcement global de la circulation dépressionnaire, qui demeure cependant très dissymétrique, avec persistance d'une faiblesse relative, localisée cette fois-ci dans le quadrant sud-est de la dépression. Les vents les plus forts sont, quant à eux, situés dans le demi-cercle nord-ouest, atteignant la force du coup de vent dès le courant de la nuit et culminant ensuite en matinée du 9, avec un bon 40 nœuds de vent présent au nord du minimum dépressionnaire.



Ces éléments incitent à considérer que la dépression est devenue une tempête tropicale modérée dès la nuit du 8 au 9. Mais JAMALA ne sera en fait baptisée, à retardement donc, qu'au matin du 10 mai. Entre-temps, le météore n'aura pas poursuivi sur la lancée de ce début de développement observé entre le 8 et le 9 mai. L'affaissement diurne de la convection qui intervient en journée du 9, fait à nouveau apparaître à la vue, sur

**Forte activité perturbée dans l'océan Indien tropical, avec la tempête tropicale modérée JAMALA dans l'hémisphère Sud et la future tempête tropicale VIYARU (ex-MAHASSEN) dans l'hémisphère Nord** (en phase de gestation au large de Sumatra). Scénario fréquent au mois de mai, en liaison avec une activation de la MJO et une poussée de vents d'ouest équatoriaux en basse troposphère, deux circulations dépressionnaires ont été générées de part et d'autre de l'Equateur. La circulation australe a été déclenchée la première et a débouché sur la tempête tropicale JAMALA.

Une deuxième cyclogenèse "jumelle" est sur les rails au sud-est du Golfe du Bengale, au large de l'île indonésienne de Sumatra, en partie soumise aux fortes précipitations induites par l'intense activité convective présente au voisinage du cœur de la dépression naissante. C'est plus particulièrement le cas de la province d'Aceh, au nord de Sumatra, qui est alors affectée par des pluies diluviennes et de sévères inondations associées.

Dans les jours suivants, ce sera au tour du Sri Lanka de subir l'influence pluvieuse du météore. Initialement dénommé du nom de MAHASSEN, celui-ci sera "débaptisé" en urgence (et renommé ensuite VIYARU), suite aux protestations émises par des officiels et nationalistes Sri Lankais, jugeant ce nom politiquement incorrect (pour désigner un phénomène naturel potentiellement dévastateur), car faisant référence au nom du roi Mahasena d'Anuradhapura, qui apporta la prospérité au pays à la fin du 3<sup>ème</sup> siècle de notre ère. Ce roi cingalais est, en effet, resté célèbre et vénéré pour ses travaux d'irrigation, ayant fait bâtir deux canaux d'irrigation et 16 réservoirs d'eau, dont le plus grand, celui de Minneriya (couvrant près de 19 km<sup>2</sup>), formé suite à la construction d'un barrage sur la rivière du même nom, lui valut à l'époque d'être considéré par ses sujets à l'égal d'un dieu.

Le clin d'œil de l'histoire, c'est que les fortes pluies engendrées par la tempête tropicale MAHASSEN/VIYARU vont provoquer un ruissellement massif, qui n'a pu être canalisé que grâce à l'existence du système de réservoirs de rétention d'eaux pluviales et de barrages initié à l'origine par le roi Mahasena. Sans eux, les 106 millions de m<sup>3</sup> d'eau qui, en l'espace de 24h, sont venus gonfler le système de stockage hydroélectrique du pays (la plus grosse recharge quotidienne observée à ce jour), auraient causé des inondations catastrophiques et meurtrières en aval. Au lieu de cela, ils ont constitué une manne économique, contribuant à faire remonter significativement la capacité hydroélectrique du pays (avec un gain de plus de 10%)...

**Strong disturbed activity in the tropical Indian Ocean with moderate tropical storm JAMALA in the southern hemisphere and to-become tropical storm VIYARU (ex-MAHASSEN) in the northern hemisphere** (about to hatch off Sumatra Island). In connection with an activation of the MJO (Madden-Julian Oscillation) and the occurrence of an equatorial westerly windburst in the lower troposphere, two low circulations had popped up on both sides of the Equator, a scenario frequently observed in the months of May. The southern circulation had emerged first and had evolved into tropical storm JAMALA.

A second "twin" cyclogenesis was on track to the southeast of the Bay of Bengal off the Indonesian island of Sumatra, which was partly subjected to the heavy rains brought about by the intense convective activity that was present in the vicinity of the core of the nascent depression. It was especially the case in the Aceh Province (north of Sumatra), which was then affected by torrential rains and severe induced flooding.

In the ensuing days, it was Sri Lanka's turn to undergo the rainy influence of the meteor, initially referred to as MAHASSEN. However this name was urgently withdrawn (and the storm renamed VIYARU) following protests by officials and Sri Lankan nationalists who deemed it highly politically incorrect as they claimed that it would be improper to name a potentially destructive force of nature after a name that came from King Mahasena of Anuradhapura, an all time great king who brought prosperity to the island country at the end of the third century AD. This Sinhala king is indeed famed and revered for his large irrigation works for having built two irrigation canals and sixteen reservoirs, including the largest one (covering almost 19 km<sup>2</sup>) the Minneriya tank (built after the construction of a dam on the Minneriya River) which earned him to be regarded by his countrymen as a god or deity at the time.

The irony of the story lies in the fact that the heavy rainfall generated by tropical storm MAHASSEN/VIYARU caused a massive overland flow : the 106 million cubic meters of water which flowed into the reservoirs in 24 hours thus brought the highest water inflows in a single day to the country's hydro power storage system. If not for the dams and reservoirs of the water retention system originally initiated by King Mahasena that kept the water from flowing down, run off and flooding could have wrought havoc downstream. Instead, this water constituted an economic bonanza since it served to a significant raise of the electricity storage of the island with more than 10% increase in capacity...

Terra  
Modis



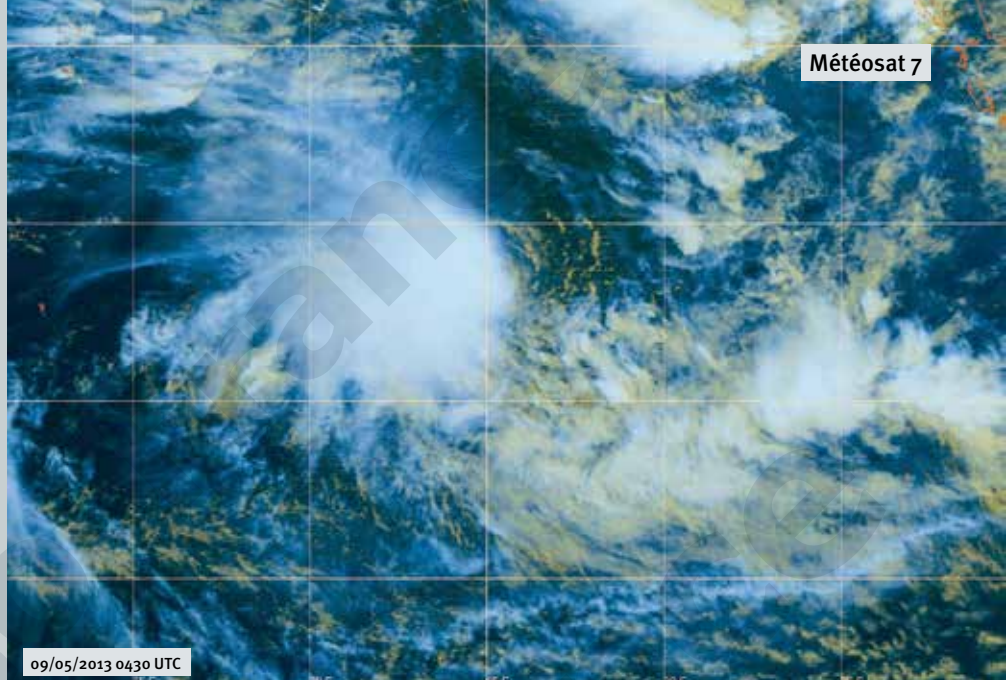
10/05/2013 0426 UTC



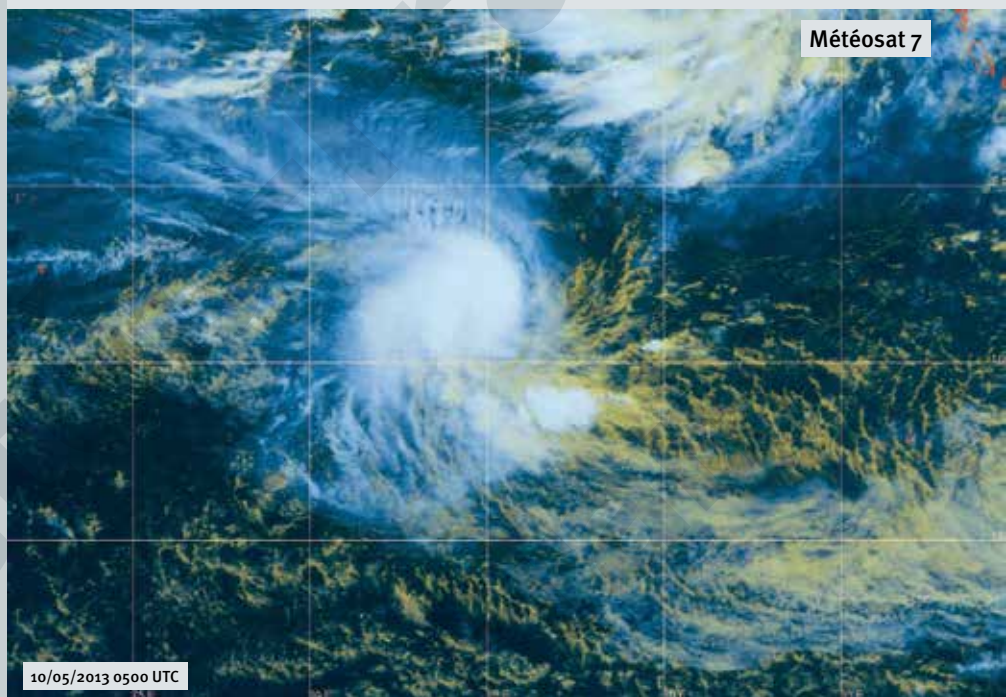
## FORMATION

The formation of the last system of the 2012-2013 season, which was admittedly not as tardy as KUENA's had been at the end of the previous season, also took place belatedly. Occurring almost three weeks after IMELDA's demise, the appearance of to-be JAMALA should be related with the dynamic revitalization of the convective and disturbed activity triggered in the near-equatorial area by a significant activation of the coupled equatorial waves that modulate the activity of the convection at the intra-seasonal scale. Thus, towards the end of April-beginning of May, a Kelvin wave spreading from the west and above all an active phase of the MJO (Madden-Julian Oscillation) that developed over the Indian Ocean, were jointly identified.

When such outbursts of the MJO take place during the transition periods (typically in May and November), it often contributes to creating the conditions favourable to the spin up of twin cyclogenesis on both sides of the Equator. That was once again what was going to happen during the episode of May 2013, which resulted in the formation of tropical storms JAMALA, in the Southern hemisphere, and VIYARU (originally known as MAHASEN), in the Northern Indian Ocean (Bay of Bengal). However, both phenomena were not generated concomitantly. Initially, the disturbed activity actually seemed set to focus on the southern side of the Equator. Following the classic equatorial westerly windburst associated with the pulse of the MJO, the cloud and convective activity had noticeably strengthened during the first days of May over the central part of the Indian Ocean. A background favourable to cyclogenesis started to settle, which did not escape the numerical prediction models, which, as early as 4 May, indicated that a cyclogenesis was very likely to occur at medium range. On 6 May, an elongated clockwise circulation began to unfold within the near-equatorial trough, over the far northeastern portion of the RSMC's area of responsibility, around a low estimated at 1006 hPa and located about 4°South/88°East. An area of persistent convective activity, though fluctuating, was associated with it, within which the presence of a few cloud curvatures could be observed already. On the next day there was no significant evolution and it was only during 8 May that a gain in organization could be noted: on the satellite imagery, a low-level circulation was henceforth clearly depicted, in the



**Phase mature de la tempête tropicale modérée JAMALA.** Système ayant rapidement plafonné en intensité, JAMALA n'a jamais exhibé une apparence ou structure bien impressionnante sur l'imagerie satellitaire. L'analyse des observations annexes (à savoir les vents dérivés des données diffusiométriques), a permis d'aboutir à la conclusion que le maximum d'intensité avait été atteint le 9 mai ; une déduction pas forcément évidente au vu de la seule imagerie satellitaire, si l'on compare les configurations nuageuses affichées sur les deux images ci-dessus et ci-dessous, respectivement acquises les 9 et 10 mai.



**Mature phase of moderate tropical storm JAMALA.** As a system which rapidly plateaued at a modest intensity, JAMALA never exhibited an impressive structure and appearance on the satellite imagery. After analysing the additional observations, namely the scatterometer winds data, it was ultimately concluded that the maximum of intensity had been reached on 9 May, an inference which was not really obvious when considering only the satellite imagery, if one compares the cloud configurations displayed on the images above, respectively acquired on 9 and 10 May.

southwestern quadrant of which most of the convection had gathered and developed ; a classic configuration for an early life-cycle that indicated nevertheless the existence of a rather strong east to northeasterly vertical windshear. Yet, in spite of a cloud pattern that was nothing to write home about, it appeared that the surface wind field was stronger than one might have thought at the outset simply on seeing the cloud signature. The examination of the winds derived from the Ascát and Oceansat scatterometer

l'imagerie satellitaire classique, le centre de la circulation de basses couches derechef exposé en marge orientale de la convection ; tandis que la nouvelle pulsation d'activité convective qui survient inévitablement la nuit suivante, semble cette fois sans effet. La signature nuageuse proposée au matin du 10 mai semble pourtant comparativement un peu meilleure que celle affichée la veille. Mais les nouvelles données de vents diffusiométriques contredisent cette impression visuelle et ne vont pas dans le sens d'un quelconque hypothétique gain



d'intensité, indiquant, bien au contraire, une réduction nette de la force des vents, qui, à la mi-journée du 10, atteignent à peine la force du coup de vent et ce de manière localisée dans le quadrant nord-ouest de la circulation dépressionnaire uniquement. L'on ne se doute pas que c'est déjà le début de la fin pour le fraîchement nommé JAMALA, dont le statut de tempête tropicale modérée ne tient plus qu'à un fil.

De manière surprenante, le système va pourtant commencer à périliter à partir de la fin de journée. Alors que la baisse prévue du cisaillement vertical de vent pouvait laisser penser qu'une fenêtre propice à un développement allait s'ouvrir, c'est l'inverse qui va se produire. Loin de s'épanouir, la convection va au contraire s'évanouir, dépérissant totalement, au point d'avoir pour ainsi dire quasiment disparu au matin du 11, dévoilant ainsi un large vortex de nuages bas et moyens résiduels, au cœur duquel les vents sont assez faibles, seule une couronne externe de vents de 25 à 30 nœuds perdurant. Le cisaillement de vent ne s'est pas encore relâché, mais n'est pas plus virulent qu'avant et il semble donc que l'explication de cette volatilisation de l'amas de convection qui s'était envers et contre tout maintenu jusque là, soit plutôt à rechercher dans la perte de la diffusion d'altitude dont il bénéficiait antérieurement.

Le cisaillement vertical de vent va effectivement s'atténuer quelque peu le lendemain (12 mai), mais c'est déjà trop tard, le mal est fait. La vorticité est totalement retombée et les restes du météore font p le figure, même si des vents assez forts sont encore présents à 200-400 km au sud du minimum dépressionnaire, en raison du gradient de pression important existant dans cette zone avec les hautes pressions subtropicales. La convection ne pourra jamais reprendre près du centre de la circulation et c'est donc un système moribond qui va survivre encore pour quelques jours.

Après avoir poursuivi plusieurs jours durant, cahin-caha, sa progression relativement lente et irrégulière en direction générale du sud-sud-est, l'ex-JAMALA faisait route depuis la veille vers l'est, un peu au sud du 10 me parallèle Sud. Cette dérive s'interrompt brutalement au matin de ce même 12 mai et le minimum dépressionnaire fait marche arrière toute, repartant vers l'ouest, puis rapidement l'ouest-nord-ouest. Repris dans le courant directeur d'alizés en marge septentrionale duquel il évolue, le minimum dépressionnaire accélère son déplacement, temporairement   plus de 20 km/h le 13. Tout en remontant

*data thus showed that apart from an important weakness in the eastern part, rather strong winds, reaching near gale force locally, were present in most of the clockwise circulation. An assessment that led one to consider that the upgrading to the stage of tropical depression could be justified as early as mid-day on 8 May.*

## EVOLUTION

*Whereas the system had been shifting up to then towards the west-southwest, a sudden change of heading had just taken place, with a tacking about towards the southeast to south-southeast. Moving at a moderate speed (about 8 km/h), the centre of the depression crossed longitude 85 East again towards the east in the evening of 8 May.*

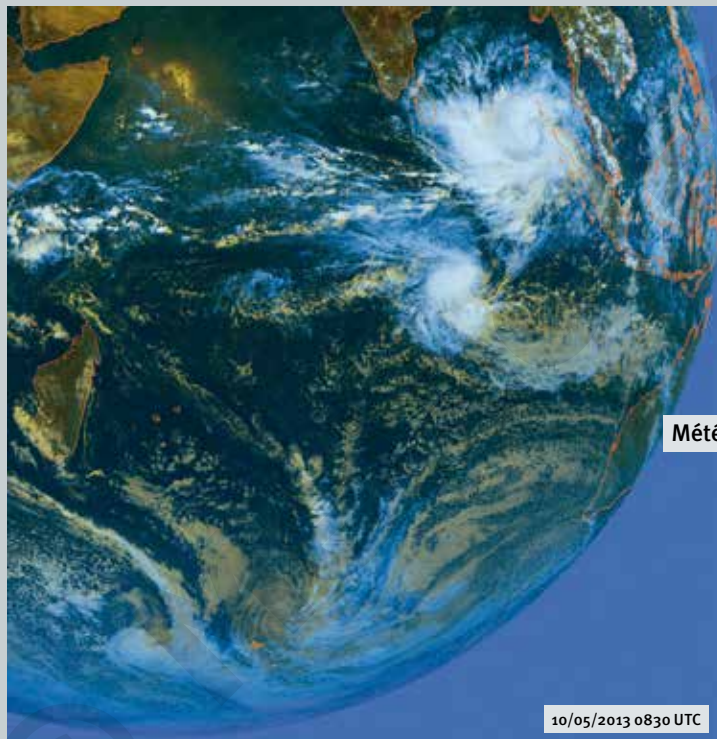
*That change of heading tended to bring the meteor closer to the upper ridge, but its environmental situation had not been fundamentally modified for all that ; the system went on evolving in the northwestern sector of the ridge, and was consequently still undergoing a unidirectional east to northeasterly flow that maintained a stiff sheared constraint (estimated at 30 knots by the CIMSS). In spite of that crippling constraint that a-priori would not allow any development of the phenomenon, the latter did more than simply resist. The decoupling between the low-level circulation and the main cluster of convection did not increase, as the low centre remained in the eastern vicinity of the latter, while the distance that separated them was just fluctuating according to the convective pulses of activity induced by the diurnal cycle. A usual scenario in situations of cloud pattern sheared on a long-term basis. Owing to the classic nocturnal outburst of convection, the low even found itself temporarily hidden under the eastern boundary of the convection at dawn on 9 May.*

*It is not always obvious to know whether those pulses of convection, and the pseudo "coming and going" that it induces above or next to the centre of the low-level circulation, have or do not have the time to impact the low, by favouring (or not, besides) a temporary deepening of the system. In that case, it would seem that they did. That was at any rate what was substantiated by the scatterometer windfields derived from the successive Ascat and Oceansat overpasses acquired until midday on 9 May. They clearly validated a global strengthening of the clockwise circulation, which, however, remained very dissymmetrical, with*

*the persistence of a relative weakness, located this time in the southeastern quadrant of the depression. As to the strongest winds, they were situated in the northwestern semi-circle, reaching gale force during the night and then peaking in the morning of 9 May, with maximum winds above 40 knots present to the north of the low. Those elements led one to consider that the depression had become a moderate tropical storm as early as the night of 8 to 9 May. But JAMALA would in fact be named, belatedly, only in the morning of 10 May. In the meantime, the meteor had not kept the momentum of its initial development observed between 8 and 9 May. The diurnal sag back of the convection, which took place during 9 May, unveiled again, on the classic satellite imagery, the centre of the low-level circulation once more exposed on the fringe of the eastern edge of the convection; whereas the new pulse of convective activity which unavoidably occurred during the ensuing night seemed to have no effect this time. Yet the cloud signature proposed in the morning of 10 May looked comparatively slightly better than the one displayed the day before. But the new data from the scatterometer winds contradicted that visual impression and were not consistent with any hypothetical gain in intensity, as, on the contrary, they indicated a sharp reduction of the wind power, which, at midday on 10 May, hardly reached gale force and did so only locally in the northwestern quadrant of the clockwise circulation. No one could imagine that it was already the beginning of the end for freshly named JAMALA, whose status as a moderate tropical storm was hanging by a thread.*

*Yet, surprisingly enough, the system was going to start deteriorating from the end of the day onwards. Whereas the expected decrease in the vertical windshear could lead one to believe that a time window favourable to development was going to open, the opposite happened in fact. Far from thriving, the convection faded on the contrary, decaying altogether, to such an extent that it had almost vanished so to speak in the morning of 11 May, thus unveiling a wide vortex of residual, low and mid-level clouds, in whose core the winds were rather weak. Nothing but an external crown of 25 to 30 kt winds persisted. The windshear had not yet relaxed, but was not more virulent than before and it therefore seemed that the explanation of that vanishing of the cluster of convection which had been maintained against all odds up to then, was to be*

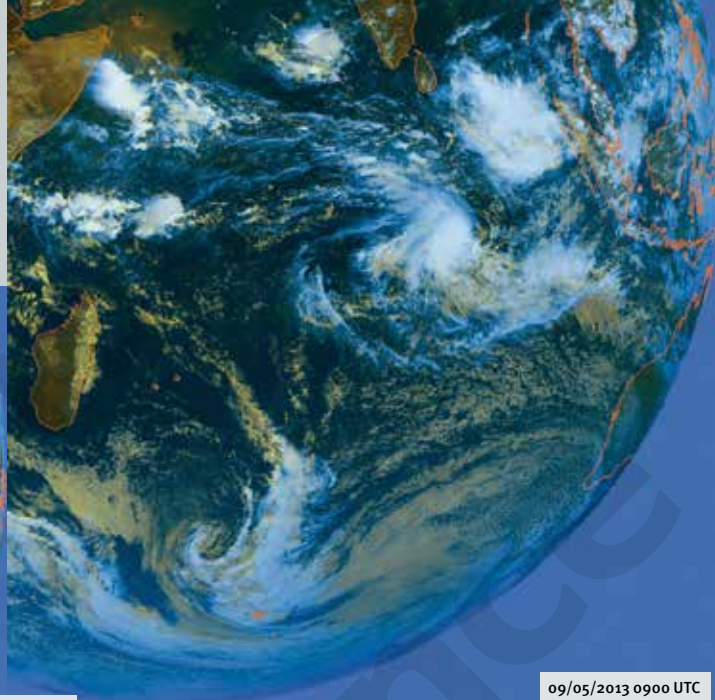




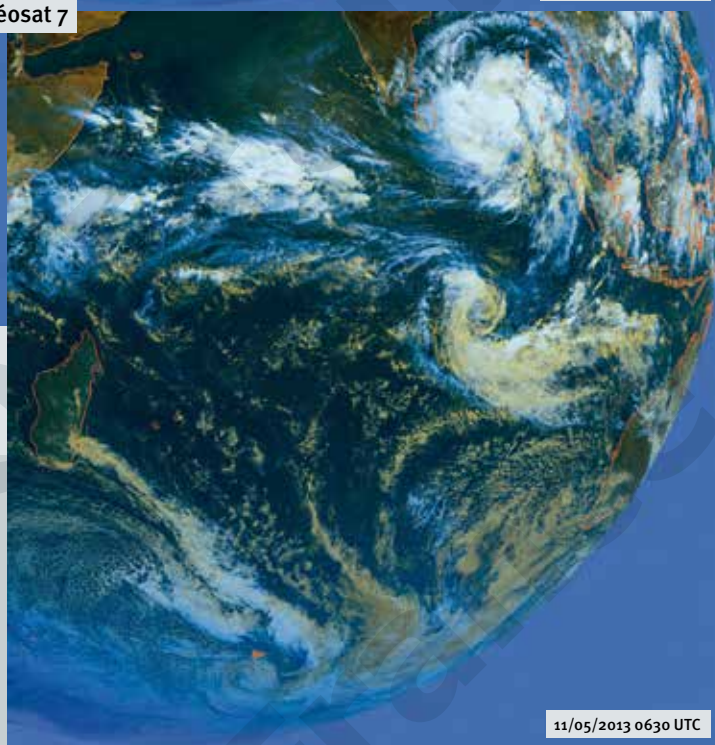
Météosat 7

Evolution sur 3 jours de la tempête tropicale modérée JAMALA et de la future tempête tropicale VIYARU.

Evolution over 3 days of moderate tropical storm JAMALA and of to-become tropical storm VIYARU.



09/05/2013 0900 UTC



11/05/2013 0630 UTC

found in the loss of upper diffluence from which it benefited earlier.

As a matter of fact, the vertical windshear somewhat lessened on the next day (12 May), but it was already too late, the harm was done. The vorticity had completely subsided and the remnants of the meteor looked very feeble, even though rather strong winds were still present 200-400 km to the south of the low, owing to the significant gradient of pressure existing in that area with the subtropical high. The convection would never be able to resume near the centre of the circulation and therefore it was a moribund system that still survived for a few days.

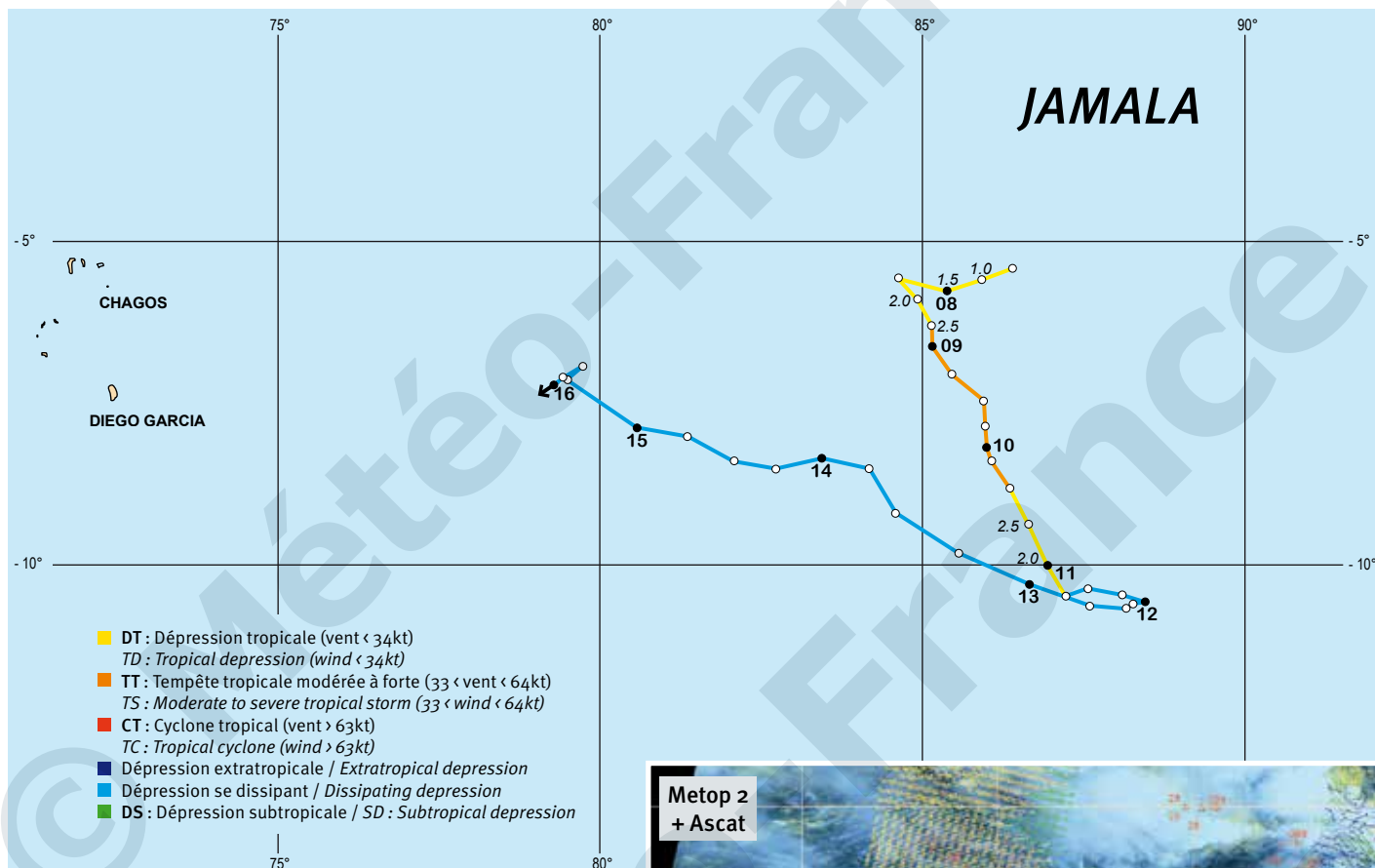
After pursuing its course for a few days, muddling along at a relatively slow speed on the assumed irregular track in a general south-southeasterly direction, ex-JAMALA had been jogging along eastward since the day before slightly to the south of latitude 10°South. That slow drifting came suddenly to an end in the morning of that same day (12 May) and the low went full astern towards the west, then speeded up towards the west-northwest. Caught in the steering flow of the trade winds on whose northern edge it was evolving, the low moved at an

accelerated pace on 13 May (at more than 20 km/h temporarily). Thus, while travelling up north towards the low latitudes, it kept going during the next days as a stabilized 1003-1004 hPa remnant low, before eventually dissipating on 16 May in the vicinity of latitude 7°South. Indeed, as a mere, marginal and short-lived moderate tropical storm of the late season, JAMALA was not a prominent phenomenon for sure. But from a purely technical point of view, it all the same constituted an interesting case study showing how difficult it is to estimate precisely the intensity of systems that present a sheared configuration on a long-term basis. The provision of additional observations, in that case the data from the scatterometer winds, was very welcome to assist the analysis process. Those wind data showed, at least in that individual case, that the intensity peak of the storm did not necessarily correspond to the culmination point in terms of organization of the cloud system.

ainsi vers les basses latitudes, il se maintient durant les jours suivants à 1003-1004 hPa, se dissipant finalement le 16 mai au voisinage du 7<sup>ème</sup> parallèle Sud.

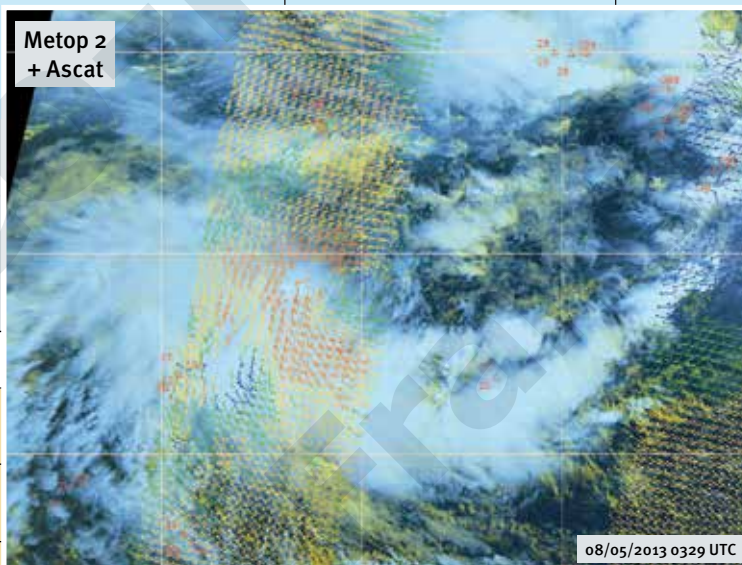
Simple tempête tropicale modérée marginale et éphémère de fin de saison, JAMALA n'aura certes pas été un phénomène marquant. Mais d'un point de vue purement technique, il aura tout de même constitué un cas d'étude intéressant de la difficulté d'estimer précisément l'intensité des systèmes présentant une configuration durablement cisailée, avec un apport précieux des observations annexes, en l'occurrence les données de vents diffusiométriques, qui ont montré que, dans ce cas d'espèce en tout cas, il n'y avait pas forcément concordance entre le pic d'intensité sol et le summum d'organisation nuageuse.





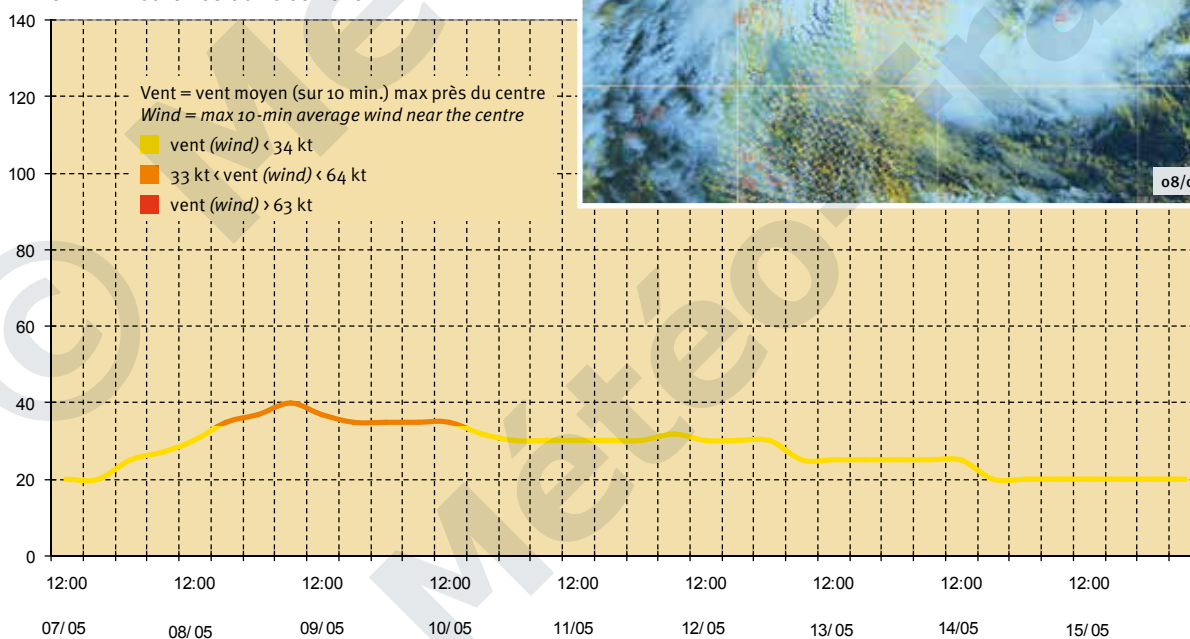
**Genèse de la tempête tropicale modérée JAMALA.** Malgré une configuration nuageuse encore très primitive, la circulation dépressionnaire est déjà affirmée, avec du grand frais présent, dans le quadrant nord-ouest en particulier, d'après les vents dérivés des données diffusiométriques Ascatter.

**Genesis of moderate tropical storm JAMALA.** In spite of the still primitive state of the cloud configuration, the clockwise circulation was already robust, with the presence of near gale force winds (in the northwest quadrant in particular), according to the windfield assessed by the Ascatterometer.



Météo-France - Centre des cyclones tropicaux de La Réunion

JAMALA du 07/05 au 16/05/2013



EVOLUTION DU VENT MAX EN NŒUDS (A GAUCHE) ET DU NOMBRE CI DE 6 HEURES EN 6 HEURES  
6-HRL Y 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 18 et NOAA 19 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, pourrait-on 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 intensité et tendance d'intensité des phénomènes, à l'exception des cyclones matures (les vents les plus violents présents au cœur de ces systèmes ne pouvant être appréhendés par ce biais). 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, procurant durant une décennie (jusqu'en novembre 2009) un nombre inespéré et inestimable de données. Le radar diffusiomètre SeaWinds possédait 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. Dans l'intervalle, un second radar diffusiomètre était entré en service en 2007 : 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 pouvaient ainsi être exploitées. Le radar diffusiomètre Oceansat-2 de l'ISRO (agence spatiale indienne) est venu partiellement compenser la perte de QuikScat, fournissant depuis 2011 des données de vents au-dessus des surfaces océaniques.

Les données micro-ondes SSM/I ou SSMIS (Special Sensor Microwave Imager / Sounder) issues des satellites défilant militaires américains (programme DMS/P), ou issues des satellites 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 UTILISEES :

Malgré l'arrivée de ces nouvelles générations de satellites et le développement de nouvelles techniques d'analyse très



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

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

Cette analyse et la prise en compte de l'évolution passée de la perturbation, permettent de classer celle-ci sur une échelle d'intensité, dite de DVORAK, allant de 1.0 à 8.0 par pas de 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 111).

*Due to the fact that aircraft reconnaissance is lacking and conventional observations are very scarce, satellite imagery is obviously 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. Since data from the Indian satellite INSAT were not available in the region in real time, the South-West Indian Ocean was previously the single cyclone basin in the world which was not covered entirely by a geostationary satellite. 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 18 and NOAA 19 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 recent years. These data of different nature have now taken a major importance amongst the panel of operational tools for satellite analysis. Most of them is 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 force or gale force winds), indications on the intensity and intensity trend of the system, except for mature cyclones (since this technology does not have the capability to resolve the highest wind speeds of the central core). Since 2007 a second scatterometer radar*

*had joined the SeaWinds scatterometer radar aboard NASA's satellite named QuikScat (launched mid-1999) and up to four daily-orbits could be acquired. The ASCAT aperture radar aboard the European satellite METOP has a more reduced coverage (with its dual 500 km wide swaths) compared to QuikScat and its large 1800 km swath. QuikScat stopped its operations in November 2009 after providing during a decade an incredible amount of invaluable data. Its demise was partially compensated by the arrival in 2011 of the data from the scatterometer radar of the Indian satellite Oceansat-2. Microwave data and imagery from SSM/I or SSMIS (Special Sensor Microwave Imager / Sounder) aboard the American military polar orbiting satellites from the DMSP programme, or from the 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 111).*



# Terminologie

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

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

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

#### • ZONE PERTURBÉE

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

#### • PERTURBATION TROPICALE

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

#### • DÉPRESSION TROPICALE

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

#### • TEMPÊTE TROPICALE MODÉRÉE

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

#### • FORTE TEMPÊTE TROPICALE

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

#### • CYCLONE TROPICAL

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

#### • CYCLONE TROPICAL INTENSE

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

#### • CYCLONE TROPICAL TRÈS INTENSE

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

#### • DÉPRESSION EXTRATROPICALE

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

#### • DÉPRESSION SUBTROPICALE

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

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

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

#### • ZONE OF DISTURBED WEATHER

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

#### • TROPICAL DISTURBANCE

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

#### • TROPICAL DEPRESSION

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

#### • MODERATE TROPICAL STORM

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

#### • SEVERE TROPICAL STORM

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

#### • TROPICAL CYCLONE

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

#### • INTENSE TROPICAL CYCLONE

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

#### • VERY INTENSE TROPICAL CYCLONE

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

#### • EXTRATROPICAL DEPRESSION

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

#### • SUBTROPICAL DEPRESSION

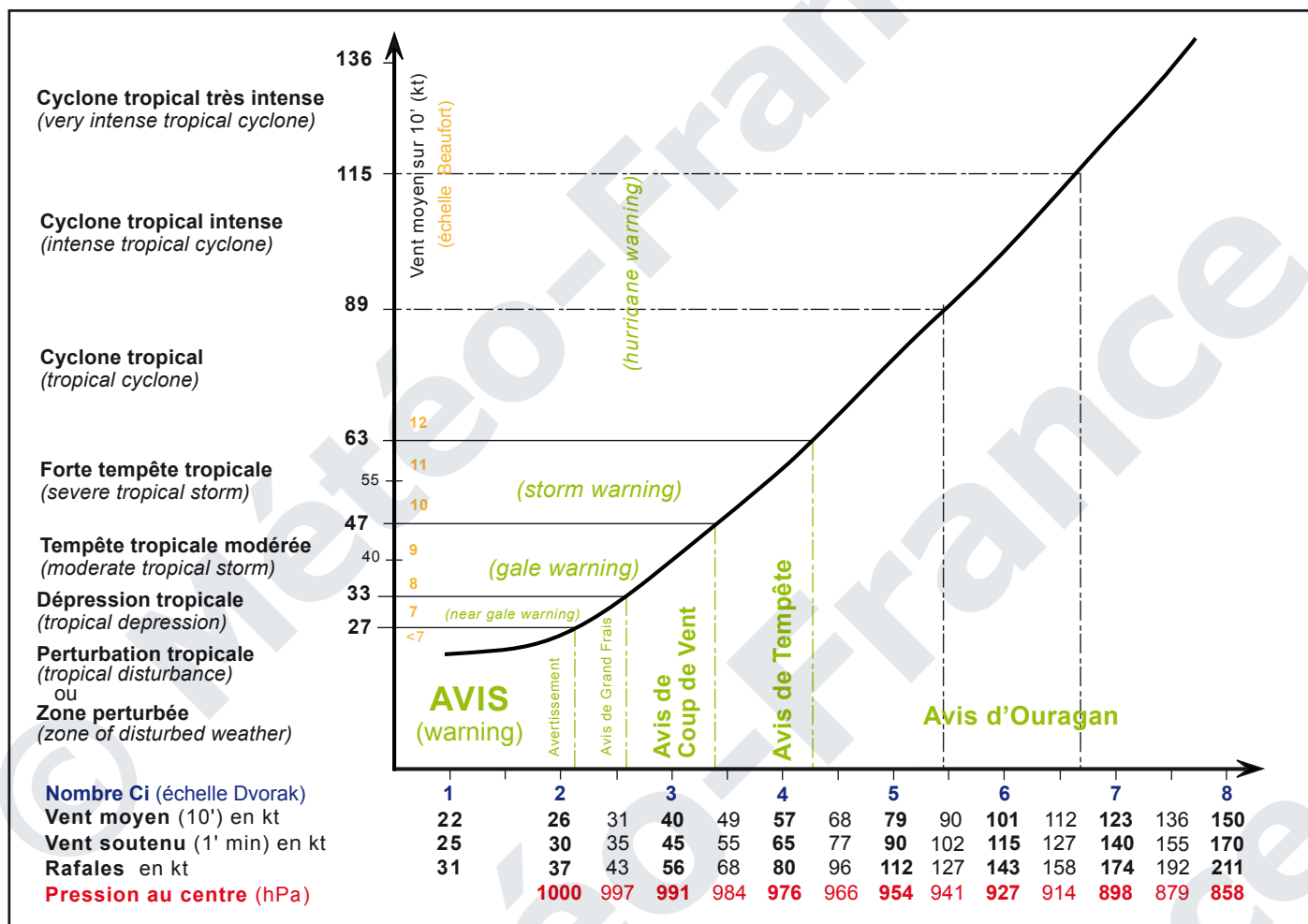
Synoptic scale low pressure area having during its life, characteristics which could belong to both tropical and extra-tropical depressions. In the South-West Indian Ocean, the genesis of such system is occasionally observed over the South of the Mozambique Channel.

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



## Classification des perturbations tropicales dans le Sud-Ouest de l'océan Indien

### Revised classification of tropical disturbances used in the South-West Indian Ocean



La classification présentée ci-dessus est celle en vigueur depuis la saison cyclonique 1999-2000. Par rapport à la version antérieure, les modifications ont porté sur l'échelle de correspondance entre les intensités de Dvorak et les vents (moyennés sur 10 minutes et rafales), la correspondance avec les pressions demeurant inchangée.

Un nouveau facteur de conversion de 0,88 (au lieu de 0,80 antérieurement) a été appliqué aux vents soutenus (vents moyennés sur une minute, pour lesquels l'échelle de Dvorak a été calibrée à l'origine) pour obtenir les vents sur 10 min (un facteur de conversion de 1,41 étant par ailleurs appliqué aux vents sur 10 min pour obtenir les rafales maximales attendues sur mer, contre 1,50 auparavant).

Le choix de ce nouveau facteur de conversion, outre le fait d'être plus réaliste, présente par ailleurs l'avantage d'uniformiser les pratiques, notamment entre les différents Centres de suivi cyclonique de l'hémisphère sud.

Ce changement d'échelle de correspondance a eu essentiellement pour conséquence un décalage des intensités Dvorak vers des valeurs de vents moyens sur 10 min plus élevées (ainsi un système d'intensité 4.5 sur l'échelle de Dvorak, antérieurement classé en forte tempête tropicale, est désormais classé en cyclone tropical), les rafales maximales sur mer associées étant demeurées quasiment inchangées.

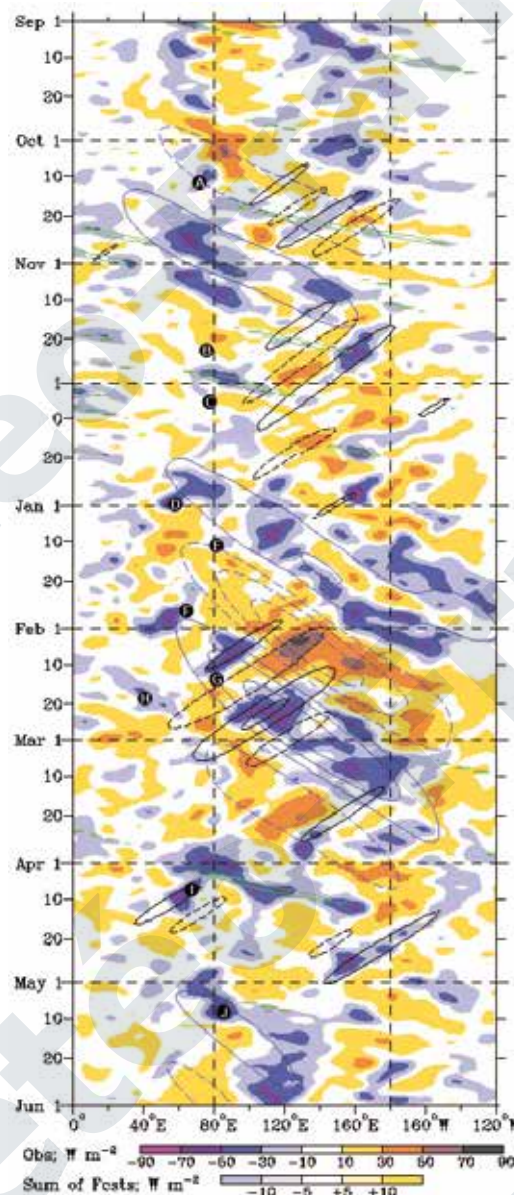
The revised classification displayed above has come into force since cyclone season 1999-2000. Compared to the previous version, the changes made concerned the corresponding scale between the Dvorak intensities and the winds (10-min average and peak gusts). No modification was made for the correspondence with pressures.

A new conversion factor of 0.88 (instead of 0.80 previously) has been applied to the sustained winds (the 1-min average winds the Dvorak scale has been initially designed for) to obtain the 10-min average winds (while a conversion factor of 1.41 - instead of 1.50 - has been applied to the 10-min average winds to get the expected peak gusts over sea).

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

The main consequences of modifying the scale of correspondence were to shift the Dvorak intensities towards higher 10-min average wind speeds (while the corresponding peak gusts over sea bore with minor adjustments). For instance a system getting a current intensity of 4.5 on the Dvorak scale, which was formerly classified as a severe tropical storm, would now rank as a tropical cyclone.

Evolution temporelle des anomalies d'OLR lors de la saison cyclonique 2012-2013 (septembre 2012 à mai 2013) 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 phases actives (resp. inactives). Ont été superposées les localisations des cyclogenèses des tempêtes tropicales et cyclones de la saison cyclonique (repérées par leur initiale à la date et à la longitude du moment où ces systèmes ont atteint le stade de dépression tropicale).



*Time evolution of the OLR anomalies for the cyclone season 2012-2013 (September 2012 to May 2013) 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 their initial at the time and at the longitude of their initial classification at tropical depression stage) have been superimposed.*

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, 22, 26, 29, 31, 35, 37, 38, 47, 48, 53, 56, 58, 68, 71, 75, 76, 78, 81, 83, 90, 93, 94
- CIMSS : p. 22, 35, 54, 58, 90
- NASA : p. 22, 55, 64, 65, 67, 75, 77, 80, 84, 87, 88, 92, 97, 103 (Modis), 65 (GSFC, courtesy Hal Pierce)
- NOAA : p. 11, 16, 19, 34, 40, 51, 54, 59, 82, 83, 92, 94
- BoM : p. 112
- RSS : p. 91
- Nesdis (courtesy Paul Chang) : p. 19



# 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.

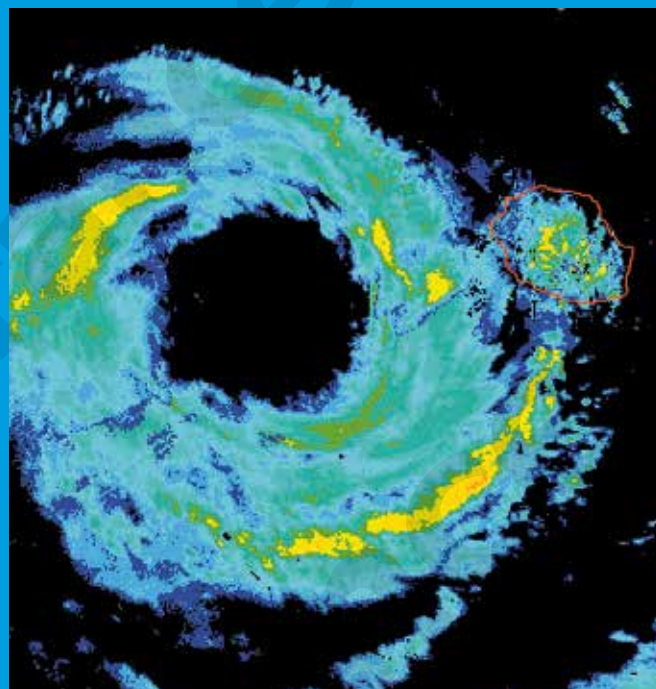
WMO : *World Meteorological Organization*. Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale (ITCZ).

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

Le cyclone tropical DUMILE vu par l'imagerie radar de La Réunion, lors de son passage à proximité ouest de l'île (03/01/2013 à 1010 UTC). Il s'agit d'une image composite, mosaïque radar réalisée à partir des données de réflectivité des deux radars de l'île (le «vieux» radar du site du Colorado et le tout nouveau radar de Piton Villers), permettant de s'affranchir des effets de masque du relief. On y voit l'œil et le mur de l'œil de DUMILE en entiers, une grande première pour un cyclone évoluant dans le secteur ouest à sud-ouest de l'île (lire détails page 44).

*Tropical cyclone DUMILE, as portrayed by the radar imagery from La Réunion, while it was passing in close vicinity to the west of the island (03/01/2013 at 1010 UTC). The image above is a composite mosaic obtained from the reflectivity data provided by the two weather radars operating in the island (the «old» radar from the Colorado site and the «brand new» radar settled on top of the Piton Villers' Crater), enabling to circumvent the partial blindness affecting each of the radar individually (and resulting from the important orography of the island). On the image, the eye and eyewall of DUMILE can be seen in whole, a major first for a cyclone moving to the west or southwest of the island (for more details read page 44).*



Le cyclone tropical HARUNA dans le Canal de Mozambique (voir également image de la 1<sup>ère</sup> de couverture). La haute résolution (250 m) de cette superbe image Modis (Nasa), acquise par le satellite Terra le 21/02/2013 à 0735 UTC, permet notamment de distinguer finement la présence de quatre méso-vortex au fond de l'œil (pour plus de détails sur ces structures nuageuses remarquables, voir page 80).

*Tropical cyclone HARUNA in the Mozambique Channel (see also outside front cover image). The high resolution (250 m) of this gorgeous image from Modis/Nasa (acquired by the Terra satellite on 21 February 2013 at 0735 UTC), enabled in particular to distinguish with wonderful sharpness the presence of four meso-vortices at the bottom of the eye (for more details on these remarkable cloud features, see page 80).*

## Saison cyclonique Cyclone Season 2012-2013

Météo-France

Direction Interrégionale de La Réunion

50 Boulevard du Chaudron - 97490 Sainte-Clotilde

[www.meteo-france.re](http://www.meteo-france.re)

La Direction Interrégionale de La Réunion est certifiée

ISO 9001 par Bureau Veritas Certification

© Météo-France

Dépot légal novembre 2014

ISSN : 2119-6818

ISBN



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



**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance