

## **Cyclone en vue : mieux vaut prévenir ...**

Philippe Caroff, Samuel Westrelin

(CMRS<sup>1</sup> Direction Régionale de Météo France à La Réunion)

Résumé : Les cyclones comptent parmi les phénomènes naturels les plus dévastateurs. Face à ce danger, la communauté météorologique internationale s'est organisée de façon exemplaire de façon à faire bénéficier l'ensemble des territoires concernés par la menace cyclonique d'une surveillance permanente qui s'appuie sur des technologies de pointe. L'exemple du CMRS de Météo France basé à La Réunion, l'un des six centres mondiaux assurant des responsabilités internationales en matière de surveillance cyclonique, est décrit.

### Introduction :

Environ 80 cyclones se forment chaque année sur les océans tropicaux chauds. Ils comptent parmi les phénomènes naturels les plus dévastateurs à cause des vents violents, des pluies diluviennes, des marées de tempête et des fortes houles qu'ils génèrent. Cependant, parmi les dangers naturels, les cyclones ont la particularité de faire l'objet d'un suivi dédié, avec des systèmes opérationnels de surveillance, de prévision et d'alerte sur tout le globe, qui permettent de minimiser les pertes en vies humaines et les dégâts matériels.

### Le phénomène cyclonique :

Les cyclones tropicaux sont des perturbations atmosphériques tourbillonnaires occasionnant, en particulier, des vents violents et des pluies diluviennes.

Le cyclone se caractérise par une énorme masse nuageuse d'un diamètre moyen de 500 kilomètres, sachant que des « petits » cyclones peuvent présenter une extension horizontale inférieure à 200 km, tandis que des cyclones de grande taille peuvent dépasser exceptionnellement 1000 kilomètres de diamètre. L'activité nuageuse est organisée en bandes spiralées qui convergent vers un anneau central où les pluies sont torrentielles et les vents d'une violence extrême.

Cet anneau, associé à une muraille nuageuse de 14 à 18 km de hauteur, constitue ce que l'on appelle le mur de l'œil du cyclone. Il délimite une zone centrale « d'accalmie » correspondant à l'œil du cyclone, d'un diamètre très variable, de l'ordre de 40 km en moyenne, et où les vents sont faibles et le ciel peu nuageux.

Le cyclone est associé à une zone de basse pression atmosphérique (ou dépression) très creuse. La pression centrale est généralement inférieure à 960 hPa, voire 900 hPa pour les cyclones les plus intenses, sachant que la pression atmosphérique moyenne habituelle est de 1013 hPa. Cette différence de pression entre le cœur du système et sa périphérie est à l'origine des vents violents du cyclone.

Ainsi, le vent augmente de la périphérie vers le centre pour devenir maximal dans le mur de l'œil où les rafales peuvent dépasser les 300 km/h.

Par définition, un cyclone tropical est une dépression d'origine tropicale dans laquelle la vitesse des vents maximaux, moyennés sur 10 minutes, est égale ou supérieure à 118 km/h, sachant qu'à ce stade, les rafales maximales peuvent déjà atteindre 170 km/h.

La vitesse maximale du vent moyen sur 10 minutes présente dans la zone du mur de l'œil d'un cyclone (valeur mesurée ou estimée), définit ce que l'on appelle « l'intensité du cyclone ».

A noter que l'intensité d'un cyclone n'est pas liée à sa taille. On peut très bien avoir

---

<sup>1</sup>CMRS : Centre Météorologique Régional Spécialisé

un cyclone de petite taille, mais très intense, et au contraire un cyclone de grande dimension, mais relativement peu intense au cœur.  
Face à ce danger naturel, la communauté internationale a su s'organiser.

#### L'organisation internationale :

L'OMM<sup>2</sup> a désigné 6 CMRS assurant la surveillance cyclonique de la quasi totalité des bassins du globe (quelques Tropical Cyclone Warning Centres complètent le dispositif autour de la zone australienne). Ces 6 centres sont localisés à St-Denis de La Réunion, Miami, Nadi (Fidji), New Dehli, Tokyo et Honolulu, au sein des services météorologiques nationaux (figure 1). Ils sont chargés de suivre les cyclones dans leur zone de responsabilité, du stade le plus précoce de formation jusqu'à leur fin de vie. Ils fournissent aussi des prévisions de l'évolution de ces cyclones : trajectoire, changements d'intensité et phénomènes associés tels que état de la mer et marée de tempête. Ces activités sont coordonnées aux niveaux global et régional par l'OMM dans le cadre du programme World Weather Watch, qui assure à chaque pays ou territoire membre (environ 185) l'accès à ces informations.

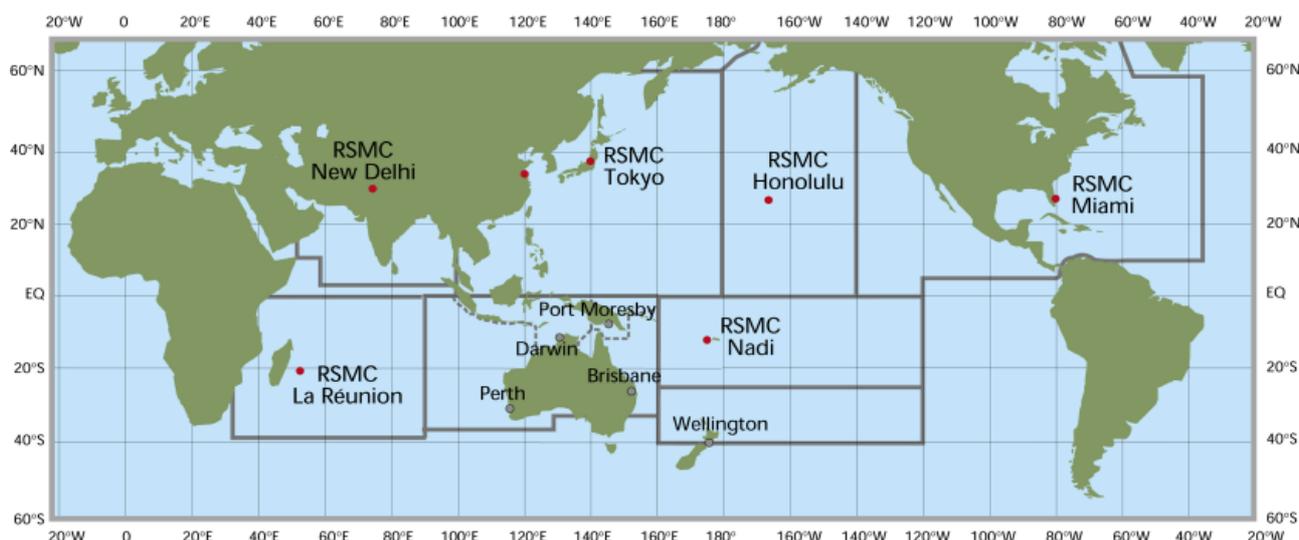


Figure 1 : Carte mondiale des 6 centres régionaux CMRS.

#### L'exemple du CMRS de Météo France à La Réunion :

La Direction de Météo-France à La Réunion a été désignée officiellement comme CMRS - Cyclones Tropicaux pour le Sud-Ouest de l'océan Indien lors de la 45<sup>ème</sup> session du Conseil Exécutif de l'Organisation Météorologique Mondiale (Genève, Juin 1993). Cette décision a pris effet le 1<sup>er</sup> juillet suivant. La zone de responsabilité officielle du CMRS couvre les eaux tropicales et subtropicales du Sud-Ouest de l'océan Indien comprises entre l'Equateur et 40° de latitude Sud, depuis les côtes orientales de l'Afrique jusqu'au méridien 90°Est, incluant donc le Canal du Mozambique.

La principale mission du CMRS est de fournir aux 14 Membres du Comité des Cyclones Tropicaux (Afrique du Sud, Botswana, Comores, France, Lesotho, Madagascar, Malawi, Maurice, Mozambique, Namibie, Seychelles, Swaziland, Tanzanie, Zimbabwe), toute l'information possible (analyses, prévisions, discussions,...) sur les différentes perturbations tropicales amenées à évoluer dans sa zone de responsabilité. Cependant, au-delà de cette fonction opérationnelle

essentielle, le CMRS a également vocation à être le pôle régional pour toutes les questions touchant aux cyclones tropicaux, par exemple, dans le cadre de la Recherche/ Développement ou de la formation.

#### Surveillance cyclonique :

Faute de reconnaissance aérienne et en raison du nombre très limité d'observations conventionnelles dans la zone de responsabilité du CMRS, la surveillance cyclonique repose essentiellement sur l'imagerie satellitaire, sauf lorsque les perturbations évoluent dans la zone d'acquisition des radars de La Réunion ou de Maurice.

La technique de DVORAK d'analyse de l'imagerie satellitaire infra-rouge et visible demeure le principal outil d'analyse utilisé. Cependant, l'imagerie micro-onde issue des radiomètres de satellites de nouvelle génération est le fer de lance de nouvelles techniques d'analyse, en particulier de l'intensité des systèmes dépressionnaires, qui prennent un poids croissant dans la surveillance cyclonique.

La surveillance cyclonique du CMRS s'appuie sur le satellite géostationnaire Météosat 5 de l'ESA<sup>3</sup>, centré sur l'océan Indien à 63°E, qui couvre l'ensemble de l'océan Indien et offre une image toutes les demi-heures. Les images des satellites défilants de la NOAA<sup>4</sup> offrent, en complément, une très bonne résolution spatiale mais souffrent grandement, en revanche, du manque de résolution temporelle. En moyenne, 4 à 6 images NOAA des perturbations tropicales de la zone sont ainsi acquises par jour. Ils mesurent par contre les températures de brillance dans la gamme micro-onde (figure 2).

Les satellites MSG<sup>5</sup> de l'ESA (à la verticale du Golfe de Guinée), qui offrent de nouveaux canaux et une résolution spatiale et temporelle (quart d'heure) accrues, permettent par ailleurs une couverture supplémentaire de la partie ouest du bassin, de qualité excellente sur le Canal du Mozambique et Madagascar.

Parmi les autres sources de données satellitaires qui ont une grande importance, citons : les données SSMI (Special Sensor Microwave Imager) et TRMM<sup>6</sup>. Il faut souligner l'apport des données diffusiométriques, dont les observations de vents dérivés en surface (force et direction) apportent des renseignements objectifs précieux sur la position du centre dépressionnaire et l'extension des zones de vents violents. Le radar diffusiomètre SeaWinds embarqué à bord du satellite défilant QuikScat (Quick Scatterometer) de la NASA<sup>7</sup> offre jusqu'à deux orbites quotidiennes sur chaque système dépressionnaire.

---

3ESA : European Spatial Agency

---

4NOAA : National Oceanic & Atmospheric Administration

---

5MSG : Météosat Seconde Génération

---

6TRMM : Tropical Rainfall Measurement Mission

---

7NASA : National Aeronautics and Space Administration

---

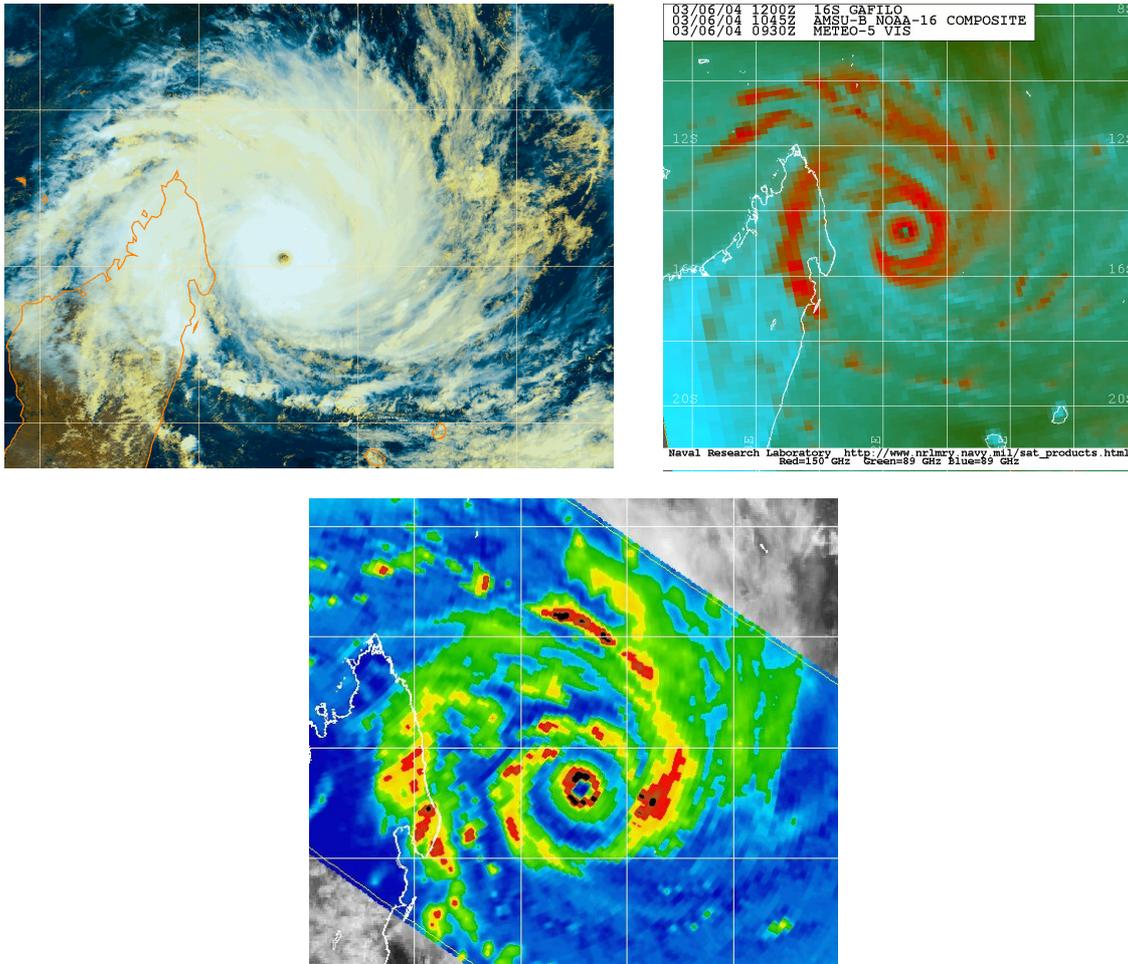


Figure 2 : trois images satellitaires du cyclone tropical très intense GAFILO. 2.a : une composition colorée des canaux infra-rouge et visible du satellite NOAA16 du 6 mars 2004 à 10h38 UTC ; 2.b : l'image AMSU-B<sup>8</sup> correspondante ; 2.c : image TRMM à 85 GHz de 08h01 UTC. L'imagerie micro-onde permet d'investiguer la structure interne des cyclones, ce que ne permet pas l'imagerie satellitaire classique (composition colorée de canaux visible et infra-rouge) qui ne voit que la partie supérieure des phénomènes. Dans le cas du cyclone tropical très intense GAFILO, le sondeur micro-onde AMSU-B embarqué à bord du satellite NOAA16 dévoile ainsi la structure des bandes pluvieuses du météore, tout comme l'imageur TRMM. Les deux révèlent l'existence d'un cycle de l'oeil en cours, l'oeil interne étant entouré par un anneau de convection externe appelé à le remplacer, information inaccessible au simple vu de l'imagerie classique.

La prévision cyclonique :

Les prévisions de trajectoire et d'intensité reposent en grande partie sur les données produites par les modèles de prévision numérique.

---

<sup>8</sup>AMSU : Advanced Microwave Sounding Unit

Evolution de l'erreur directe de position en fonction de l'échéance

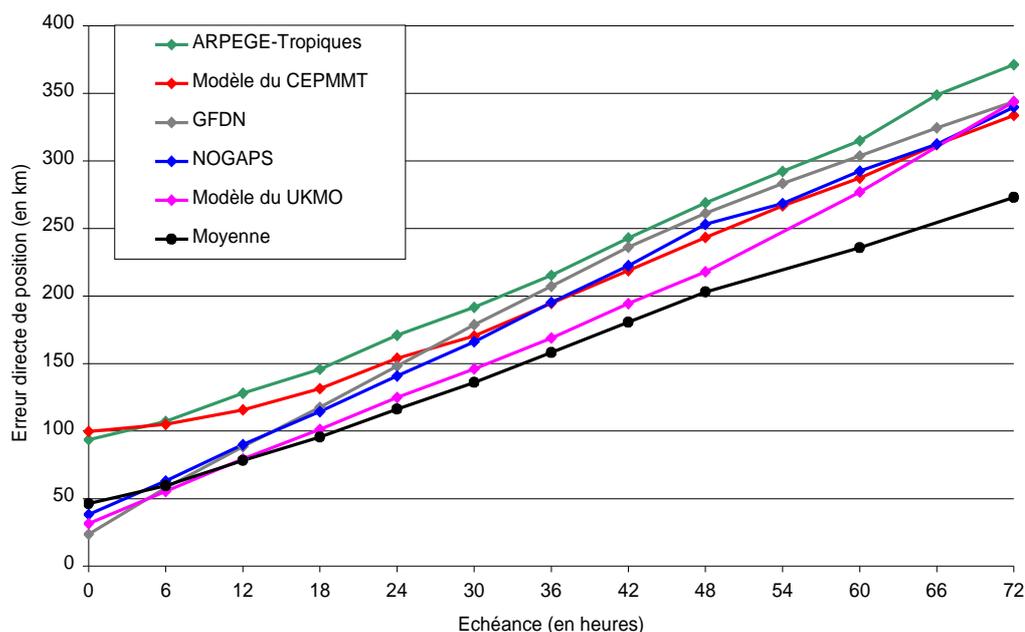


Figure 3 : Evolution de l'erreur moyenne de prévision de la position des cyclones par les modèles en fonction de l'échéance sur le globe (échantillon de 600 cas à l'échéance 0 diminuant linéairement à 300 cas à 72 h d'échéance). Période du 01/10/2004 au 30/09/2005.

Différents modèles déterministes sont utilisés pour élaborer les prévisions opérationnelles au CMRS de la Réunion. Les différents modèles sont celui du CEPMMT<sup>9</sup>, du UKMO (United Kingdom Meteorological Office), ARPEGE-Tropiques (Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) de Météo-France, et deux modèles américains : GFDN<sup>10</sup> et NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System). Ces modèles sont globaux, excepté GFDN qui tourne sur une zone limitée autour du cyclone. La figure 3 représente l'évolution de l'erreur moyenne de prévision de la position des cyclones par ces modèles. L'échantillon comprend des cyclones de différents bassins de façon à être conséquent. On peut d'emblée remarquer que l'erreur de prévision de position augmente de façon linéaire avec l'échéance : en moyenne de 75 km à l'analyse (échéance 0 h) à 350 km à 3 jours d'échéance. L'erreur n'est pas négligeable à l'analyse car peu d'observations prises en compte dans l'analyse numérique décrivent le cyclone. La plupart des radiances satellitaires, qui sont la source principale d'informations sur les cyclones, effectuent des mesures contaminées par les précipitations ou les vents trop forts et ne sont donc pas ingurgitées par l'analyse au cœur du cyclone. Qui plus est, l'analyse effectue un compromis entre les observations et une ébauche modèle par essence entachée d'erreur.

Dans les 24 premières heures de prévision deux groupes de modèles se distinguent. Les trois modèles qui présentent l'erreur la plus faible forcent l'analyse avec des profils verticaux de vents reconstitués à proximité du centre du cyclone (méthode du « bogussing ») pour pallier le défaut décrit ci-dessus. Le modèle de Météo France utilise aussi le forçage d'observations mais de manière plus légère puisque seule une pseudo-observation de la pression mer au centre du cyclone est forcée. Le

<sup>9</sup>CEPMMT : Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

<sup>10</sup>GFDN : Geophysical Fluid Dynamics laboratory- Navy model

modèle du CEPMMT n'utilise pas cette technique. L'écart entre les modèles tend à se resserrer au fil des échéances. Le point fondamental illustré par ce graphe est la réelle aptitude des modèles numériques à prévoir la trajectoire des cyclones. Avec l'augmentation du nombre de modèles utilisables pour la prévision cyclonique, sont apparues les méthodes de consensus. Elles utilisent automatiquement un ensemble de modèles, en les pondérant selon différents critères de qualité, et permettent de surclasser chaque modèle pris individuellement. Le modèle « moyenne » des autres modèles de la figure 3 en est le plus simple exemple. Une autre façon d'utiliser un ensemble de modèles, plus vaste cette fois que dans les méthodes de consensus, est d'établir des panaches de probabilité de trajectoires qui donnent un indice sur la confiance attribuable à tel ou tel scénario ; c'est l'utilisation qui est faite de la prévision d'ensemble du CEPMMT qui compte 51 membres (soit l'équivalent de 51 modèles).

### Alertes cycloniques

L'ensemble des moyens déployés et décrits dans les paragraphes précédents concourt à prévenir du danger cyclonique. La violence extrême des cyclones et les conséquences dramatiques qu'ils peuvent entraîner lors de leur passage, justifient la mise en place de mesures de prévention, tenant compte de la part d'incertitude des prévisions. En effet, il est essentiel qu'un préavis suffisant puisse être laissé aux populations, aux autorités et aux acteurs économiques pour prendre les précautions et dispositions indispensables avant l'arrivée éventuelle du phénomène. C'est ainsi qu'en cas de menace cyclonique pour La Réunion et dans le cadre d'un plan d'urgence dit « Plan de secours spécialisé CYCLONES », le Préfet, sur avis du Directeur Interrégional de Météo-France pour la Réunion, est amené à déclencher différentes phases d'alerte, afin d'avertir en temps utile la population du danger. Le système comprend deux niveaux d'alerte, l'alerte orange et l'alerte rouge, précédés d'une phase de vigilance cyclonique et éventuellement suivis d'une phase de prudence.

#### Vigilance cyclonique

Il s'agit d'une mise en garde contre le péril cyclonique. Une perturbation cyclonique évolue dans la zone ; elle présente une menace pour La Réunion sans pour cela qu'un délai puisse être indiqué de façon précise.

#### Alerte orange

La menace se précise. Il y a un danger pour l'île dans les 24 heures. Les établissements scolaires et les crèches ferment mais la vie économique continue.

#### Alerte rouge

Elle indique que le danger cyclonique est imminent ; le cyclone ou la tempête affectera l'île ou sa périphérie immédiate dans les heures qui suivent. En alerte rouge, toute circulation est formellement interdite, il est interdit de sortir de chez soi. La population dispose d'un préavis de 3 heures pour se mettre à l'abri et prendre toutes mesures propres à assurer sa sécurité et celle de ses proches.

#### Phase de prudence

Elle indique que la menace cyclonique est écartée mais que des dangers demeurent suite au passage du phénomène (réseau routier totalement ou partiellement impraticable, arbres arrachés, fils électriques à terre, radiers submergés, éboulements, etc.). Tous les établissements scolaires et les crèches restent fermés. La circulation peut être partiellement ou totalement interdite.

### Conclusion :

Nos connaissances sur les cyclones tropicaux ont énormément progressé au cours

de ces dernières décennies. Une organisation et des moyens spécifiques importants ont été dévolus au suivi de ces phénomènes météorologiques majeurs. La qualité des prévisions fournies par les centres spécialisés s'améliore régulièrement, parallèlement aux progrès des modèles numériques, en tout cas pour ce qui est des prévisions de trajectoires. L'avènement des modèles à haute résolution et leur couplage à des modèles océaniques est le gage des progrès à venir dans les prévisions d'intensité, dont la qualité a plutôt stagné ces 20 dernières années.

Malgré tous ces moyens, on constate que même les nations les plus développées ne sont pas à l'abri d'une catastrophe de grande ampleur, comme l'a montré l'exemple récent de Katrina, pour lequel les prévisions étaient pourtant, 2 jours à l'avance, presque parfaites. Le fait est que la vulnérabilité augmente, du fait du peuplement croissant de zones côtières parfois excessivement exposées au risque cyclonique. Dès lors, la moindre défaillance dans la chaîne d'alerte ou dans le système de prévention ou de gestion de crise, comme une réponse inadaptée des autorités ou de la population face à la menace, peut avoir des conséquences dramatiques.

Par ailleurs, à l'ère du réchauffement climatique, la donne est nouvelle et une question primordiale se pose : comment va évoluer le risque cyclonique ? A l'issue des simulations faites par les chercheurs, se profilerait plutôt un nombre de cyclones stationnaire mais d'intensité plus forte donc des phénomènes violents plus fréquents. Le débat reste ouvert d'autant que tous les bassins ne répondent pas de la même façon.

CEPMMT : Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

CMRS : Centre Météorologique Régional Spécialisé

ESA : European Spatial Agency

MSG : Météosat Seconde Génération

NASA : National Aeronautics and Space Administration

NOAA : National Oceanic & Atmospheric Administration

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

TRMM : Tropical Rainfall Measurement Mission

---