

Les satellites météorologiques

Didier Renaut

Météo-France - Direction commerciale et de la communication
1, quai Branly - 75340 Paris Cedex 07
didier.renaut@meteo.fr

Le premier satellite météorologique, *Tiros 1*, a été lancé par les Américains en 1960. Les images de l'atmosphère qu'il transmettait n'étaient pas vraiment exploitables. Mais, depuis cette date, la technique a beaucoup progressé. De nos jours, il existe deux familles de satellites météo : les satellites géostationnaires et les satellites défilants.

Ndlr À l'occasion de la mise en service opérationnel du nouveau satellite géostationnaire européen MSG 1, La Météorologie a souhaité présenter à ses lecteurs un article introductif et accessible à tous sur les satellites météorologiques.

Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires tournent autour de la Terre sur une orbite située dans le plan de l'équateur, à 36 000 km d'altitude. Leur mouvement étant synchronisé avec la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles, ils surplombent toujours la même partie de notre globe terrestre (figures 1 et 2).

Pour les applications météorologiques, le principal instrument utilisé sur les satellites géostationnaires est le radiomètre-imageur, ou **imageur**. Cet instrument mesure le rayonnement arrivant au satellite et provenant d'un élément de la surface et de l'atmosphère terrestres. L'image complète du globe terrestre est obtenue par un balayage combinant la rotation du satellite sur lui-même et l'orientation de l'imageur suivant une direction perpendiculaire au plan de l'équateur (figure 2). Le satellite européen *Météosat* est capable de fournir une image complète du globe toutes les demi-heures ; son successeur, *MSG* (*Météosat seconde génération*), plus performant, peut le faire toutes les quinze minutes.

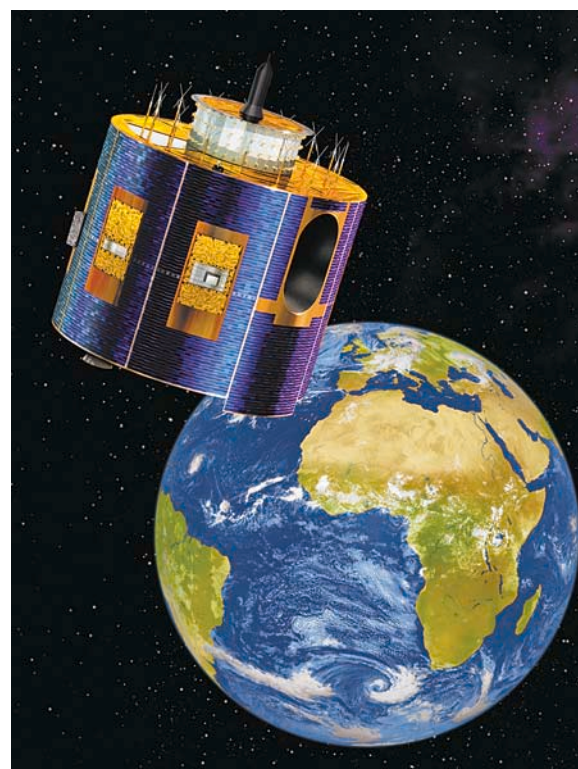


Figure 1 - Vue d'artiste du satellite géostationnaire européen MSG. (© ESA, D. Ducros)

Résumé

Ce court article est une présentation très accessible des satellites météorologiques. Sont expliqués successivement le satellite géostationnaire et son imageur, le satellite défilant et son sondeur, enfin le réseau mondial des satellites météo.

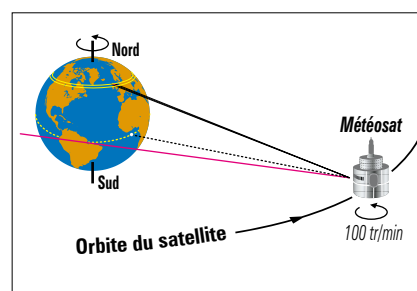
Abstract

Meteorological satellites

This short paper is a simple introduction to meteorological satellites. The geostationary satellite and its imaging radiometer, the polar-orbiting satellite and its sounder, the global meteorological satellite network are described in turn.

Pour la mesure du rayonnement, l'imageur possède plusieurs canaux, qui correspondent chacun à une bande particulière de longueurs d'onde électromagnétiques (figures 3a et 3b). Ainsi, l'imageur de *Météosat* possède trois canaux : le canal visible, le canal infrarouge et le canal vapeur d'eau.

Figure 2 - Schéma du balayage de l'imageur de *Météosat*.



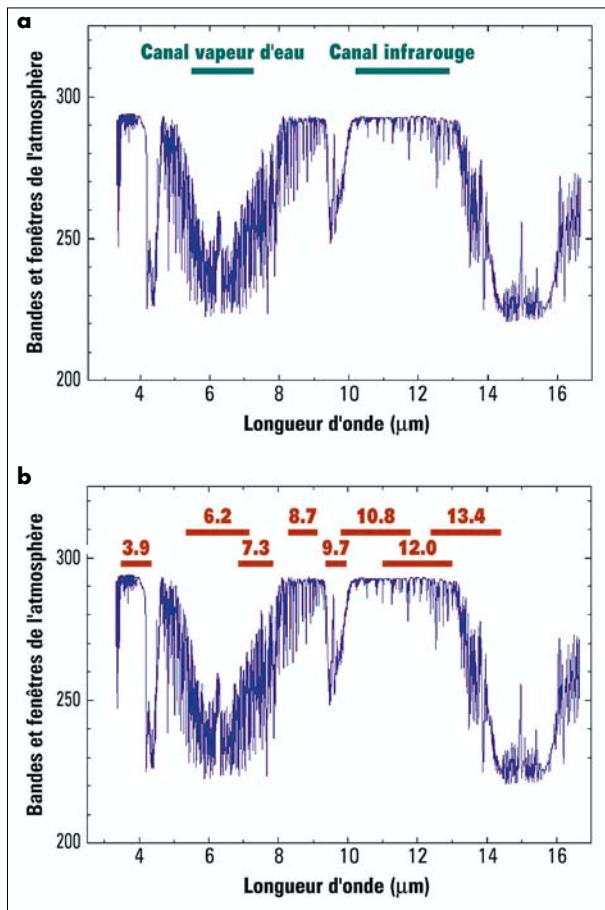


Figure 3 - Les canaux de *Météosat* (a) et de *MSG* (b) superposés à la courbe de transmission de l'atmosphère dans le domaine infrarouge.

paramètres atmosphériques complémentaires : l'ozone, les aérosols, la stabilité, etc. (Ratier et al., 2003).

Muni de son imageur, le satellite géostationnaire constitue pour les météorologistes un formidable outil de surveillance et de prévision immédiate du temps. Chaque demi-heure (*Météosat*) ou chaque quart d'heure (*MSG*), il indique où se trouvent les principales masses nuageuses (perturbations des latitudes tempérées, systèmes orageux, cyclones tropicaux...) et quels types de nuages les composent.

Comme, de plus, le géostationnaire surveille toujours la même partie du globe terrestre, on peut « animer » une séquence d'images, ce qui donne une idée très précise de l'évolution et du

• Dans le canal visible, l'imageur « voit » à peu près ce que verrait l'œil humain : la lumière solaire réfléchiée par la surface terrestre ou les nuages. Plus les nuages sont épais, plus la réflexion est forte et plus l'image est blanche. Ce canal n'est utilisable que lorsqu'il fait jour sur la Terre.

• Dans le canal infrarouge, l'imageur mesure l'émission thermique de la cible, et donc sa température, cela de jour comme de nuit. S'il n'y a pas de nuages sur la ligne de visée, la cible est la surface terrestre ; s'il y a des nuages, la cible est leur sommet, dont le radiomètre donne la température. On en déduit l'altitude du sommet des nuages : plus il est situé haut dans l'atmosphère, plus il est froid et plus l'image est blanche.

• Dans le canal vapeur d'eau, enfin, l'imageur mesure la quantité de vapeur d'eau présente dans la moyenne troposphère.

L'imageur de *MSG* est plus perfectionné que celui de *Météosat* : il possède douze canaux, ce qui lui permet de mesurer des

déplacement des masses nuageuses (figure 4). Grâce au satellite géostationnaire, les météorologistes sont maintenant capables d'alerter les populations lorsqu'un cyclone tropical se rapproche dangereusement d'une région habitée.

Les satellites défilants

Les satellites défilants utilisés en météorologie tournent autour de la Terre sur une orbite quasi circulaire passant près des pôles, à une altitude un peu inférieure à 1 000 km (figure 5). Ils

Figure 5 - L'orbite du futur satellite défilant européen *Metop*. (© ESA)

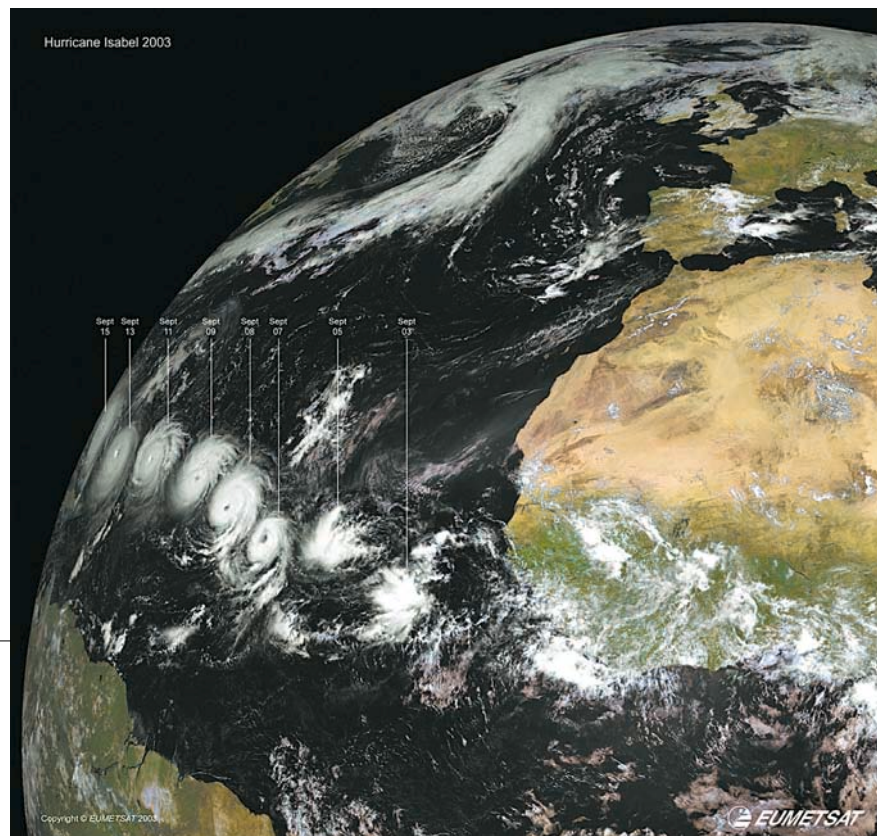
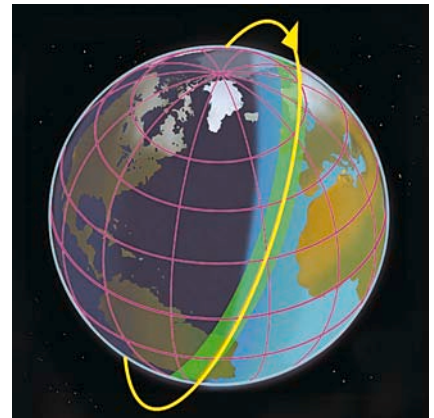
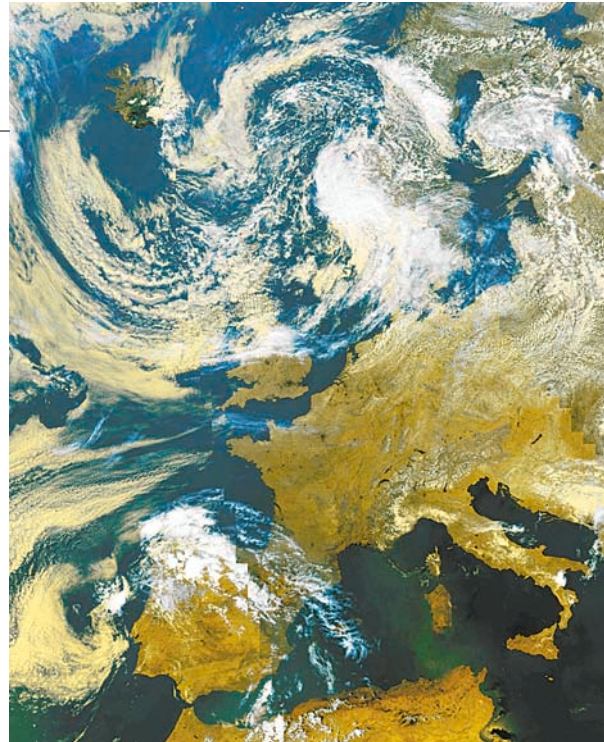


Figure 4 - Les positions successives du cyclone tropical Isabel sur l'Atlantique, vues par l'imageur du satellite géostationnaire européen *MSG 1* (image reconstituée). Isabel apparaît en tant que dépression tropicale au large de l'Afrique le 5 septembre 2003, devient ouragan le 7 et disparaît du champ de *MSG 1* le 17. (© 2003 Eumetsat)

Figure 6 - Des perturbations sur la Scandinavie vues le 26 juin 2002 entre 10 h 59 et 14 h 30 UTC par le satellite défilant NOAA 16. Composition colorée résultant du mélange des canaux visible et infrarouge. (Image Météo-France, CMS Lannion).

font le tour de la Terre en près de deux heures. Pour la majeure partie d'entre eux, l'orbite est « héliosynchrone », ce qui signifie que le plan de l'orbite suit le déplacement apparent du Soleil autour de la Terre. De la sorte, les points de la Terre situés sur un même parallèle sont tous survolés à la même heure solaire.

Comme les satellites géostationnaires, les satellites défilants météo sont munis d'un imageur à plusieurs canaux qui vise la surface de la Terre. L'image d'une partie du globe terrestre est obtenue en combinant l'avance du satellite sur son orbite et le balayage de l'imageur dans la direction perpendiculaire. L'imageur permet de surveiller les masses nuageuses, en particulier dans les régions de haute latitude (la Scandinavie, par exemple) qui échappent au satellite géostationnaire (figure 6). En revanche, comme les satellites défilants ne survolent une région de moyenne latitude que deux fois par jour, on ne peut pas « animer » leurs images pour suivre le mouvement des masses nuageuses.



Mais, pour les météorologistes, le principal atout des satellites défilants est ailleurs : ceux-ci sont munis d'un autre instrument, le radiomètre-sondeur, ou **sondeur**. Cet instrument mesure, comme l'imageur, le rayonnement arrivant au

satellite et provenant d'un élément de la surface et de l'atmosphère terrestres. Mais il possède un grand nombre de canaux, ce qui permet d'analyser finement la répartition du rayonnement selon la longueur d'onde. De cette analyse en longueur d'onde, on peut déduire le profil vertical de la température et de l'humidité dans l'atmosphère (figure 7). C'est une mesure de même nature que celle fournie par les radiosondages lancés depuis le sol. Le champ de visée du sondeur est beaucoup plus grand que celui de l'imageur ; les profils mesurés sont donc représentatifs d'une

région assez large de l'atmosphère (typiquement 50 km avec les sondeurs actuels).

Un exemple : le sondeur actuellement opérationnel sur les satellites défilants américains NOAA est appelé Atovs (Advanced Tiros Operational Vertical Sounder). Il possède 19 canaux dans le domaine infrarouge, qui permettent de mesurer les profils atmosphériques dans les régions sans nuages. Atovs possède également 20 canaux dans le domaine micro-ondes, qui complètent les mesures dans les régions nuageuses. Le sondeur Atovs donne accès aux profils atmosphériques avec une résolution verticale de quelques kilomètres et une précision de l'ordre de 2 °C pour la température et de 30 % pour l'humidité relative. Ces performances sont très inférieures à celles du radiosondage ; mais, grâce au satellite, le sondeur présente le grand avantage de fournir des profils deux fois par jour, partout à la surface de la Terre (figure 8).

Ces profils de température et d'humidité mesurés par les sondeurs satellitaires servent de données d'entrée dans les modèles numériques de prévision du temps, de la même façon que les

Figure 7 - La répartition en longueur d'onde du rayonnement émis par l'atmosphère dans la bande du CO₂ située vers 15 μm (à gauche) est fortement liée au profil vertical de température dans l'atmosphère (à droite).

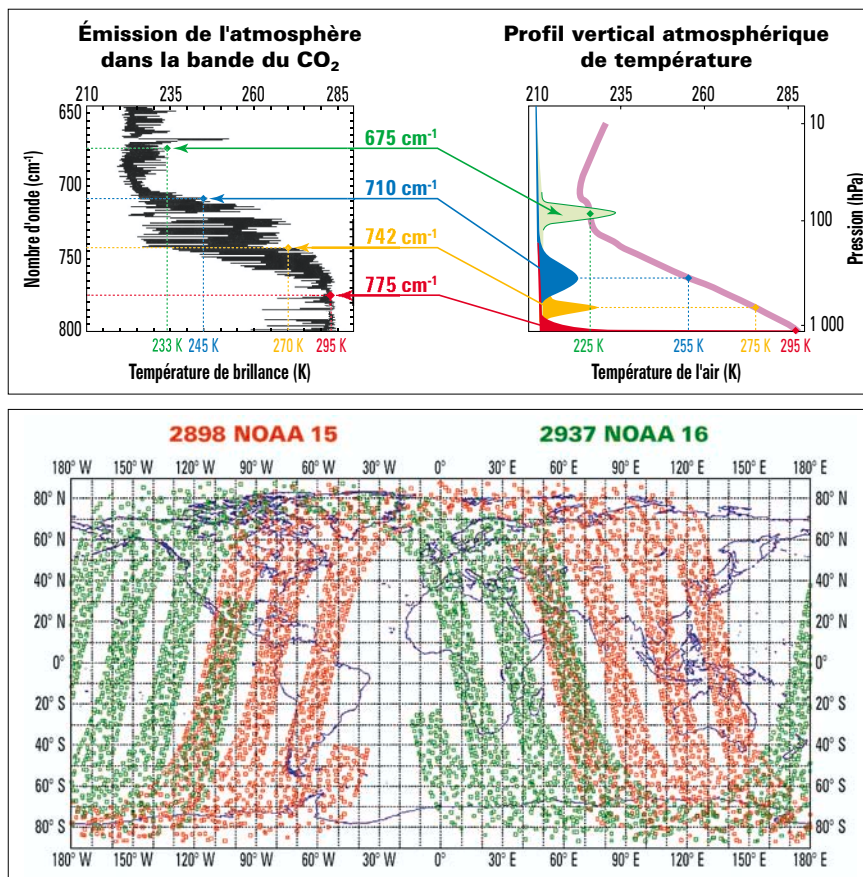
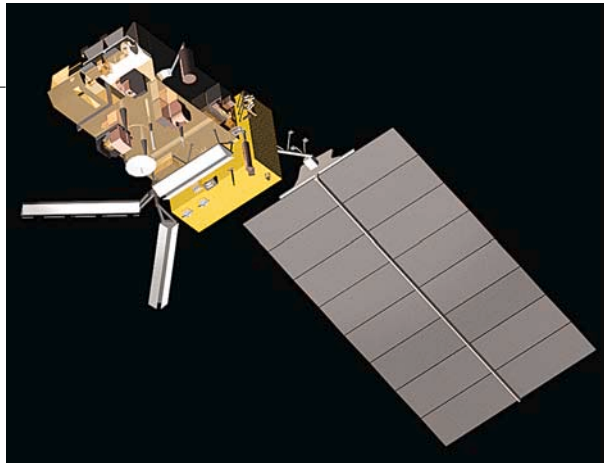


Figure 8 - Exemple de couverture géographique des sondages Atovs utilisés un jour donné pour la prévision numérique du temps. Ici les sondages Atovs proviennent de deux satellites défilants, NOAA 15 (cercles rouges) et NOAA 16 (cercles verts). Assimilation du modèle Arpège de Météo-France, le 25 novembre 2003 à 12 h UTC. (Document Météo-France)

Figure 9 - Vue d'artiste du futur satellite défilant européen *Metop*. (© ESA)



observations collectées par les instruments météo plus traditionnels. Grâce aux progrès effectués dans la conception des sondeurs depuis une vingtaine d'années (Phulpin et al., 2003), mais aussi grâce à l'amélioration constante des méthodes d'assimilation de données en

prévision numérique (Rabier et al., 2000 ; Paillieux et al., 2000), l'impact des données des sondeurs sur la qualité des prévisions est désormais sensible : on estime que cet impact est particulièrement important dans l'hémisphère nord pour les échéances de prévision supérieures à 48 heures, mais aussi dans l'hémisphère sud, où les radiosondages sont rares, à toutes les échéances.

À l'heure actuelle, on commence à voir apparaître des sondeurs de conception nouvelle, reposant sur des

interféromètres, et non plus sur des radiomètres, et possédant un bien plus grand nombre de canaux. Ainsi, le futur satellite défilant météo européen, *Metop* (figure 9), dont le lancement est prévu fin 2005, sera équipé du sondeur Iasi (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) muni de plus de 8 000 canaux dans l'infrarouge (Cayla, 2001). Les météorologistes espèrent ainsi pouvoir mesurer les profils atmosphériques avec une bien meilleure résolution verticale (1 à 2 km) et une bien meilleure précision (1 °C pour la température, 10 % pour l'humidité) qu'avec Atovs. Ils comptent donc sur Iasi pour améliorer encore la qualité des prévisions numériques du temps.

Le réseau mondial des satellites météo

Pour obtenir une couverture complète et continue de la planète, il faut un grand nombre de satellites météo (géostationnaires et défilants). Il faut aussi que le remplacement de chacun d'entre eux soit assuré en cas de défaillance technique ou, tout simplement, lorsque le satellite a atteint la fin de sa durée de vie normale. Mais lancer un satellite météo dans l'espace, assurer son bon fonctionnement, garantir la réception, le traitement et la rediffusion de ses mesures, veiller à avoir un satellite de secours, tout cela coûte très cher !



Le siège de l'organisation européenne Eumetsat à Darmstadt, en Allemagne. (© Eumetsat)

Aussi, même si la plupart des très grands pays (Russie, Chine, Inde...) lancent des satellites météo, seuls les États-Unis, l'Europe et le Japon participent vraiment de façon efficace, à l'heure actuelle, au réseau mondial. Et cela au travers de leurs agences respectives :

- la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) pour les États-Unis ;
- l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (Eumetsat) pour l'Europe ;
- la Japan Meteorological Agency (JMA) pour le Japon.



Lancement de la fusée *Ariane 5* emportant deux satellites, dont le satellite météo géostationnaire *MSG 1*, de la base de Kourou (Guyane) dans la nuit du 28 au 29 août 2002. (© 2002 ESA-Cnes-Arianespace Service optique du CSG)

Ces agences se coordonnent entre elles, voire parfois se prêtent des satellites, le tout dans le cadre du Groupe de coordination des satellites météorologiques, auquel est associé l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

En février 2004, alors que *MSG 1* vient de devenir opérationnel sous le nom de *Météosat 8* (voir ce numéro page 3) et que le satellite japonais *GMS 5*, défaillant, a été remplacé par le satellite américain *Goes 9*, le réseau mondial opérationnel des satellites météo comprend cinq satellites géostationnaires et deux défilants (tableau 1).

La réception des données de ces satellites, leur traitement et leur rediffusion sont assurés par un ensemble de sites spécialisés, dans le cadre d'accords internationaux. En France, c'est le Centre de météorologie spatiale de Lannion (Côtes-d'Armor), un centre de Météo-France, qui joue ce rôle.



Vue aérienne du Centre de météorologie spatiale de Météo-France à Lannion, dans les Côtes-d'Armor. (Photo Météo-France)

Le prochain grand changement dans l'organisation de ce réseau mondial des satellites météo aura lieu fin 2005, avec la participation de l'Europe, à travers Eumetsat, à la composante des satellites défilants, grâce à la nouvelle génération de satellites européens *Metop*.

Géostationnaires				
Position (longitude)	Nom du satellite	Zones surveillées	Satellite de réserve	Remarques
3,4° Ouest	<i>Météosat 8</i> (<i>MSG 1</i>)	Europe, Afrique, Atlantique est	<i>Météosat 7</i>	
75° Ouest	<i>Goes 12</i>	Atlantique ouest, Amériques, Pacifique est	<i>Goes 11</i>	
135° Ouest	<i>Goes 10</i>	Pacifique central	<i>Goes 11</i>	
155° Est	<i>Goes 9</i>	Extrême-Orient, Océanie, Pacifique ouest	<i>Goes 8</i>	Remplace <i>GMS 5</i> , défaillant
63° Est	<i>Météosat 5</i>	Océan Indien, Asie		Il y a aussi plusieurs satellites indiens
Défilants				
	<i>NOAA 16</i>	Globe	<i>NOAA 14</i>	Il y a aussi des satellites russes et chinois
	<i>NOAA 17</i>	Globe	<i>NOAA 15</i>	

Tableau 1 - Réseau mondial des satellites météo opérationnels, situation fin février 2004.

Bibliographie

- Cayla F.-R., 2001 : L'interféromètre lasi : un nouveau sondeur satellitaire à haute résolution. *La Météorologie* 8^e série, 32, 23-39.
- Pailleux J., J.-F. Geleyn et E. Legrand, 2000 : La prévision numérique du temps avec les modèles Arpège et Aladin ; bilan et perspectives. *La Météorologie* 8^e série, 30, 32-60.
- Phulpin T., F. Rabier et L. Lavanant, 2003 : Le sondage satellitaire et son évolution. *La Météorologie* 8^e série, 40, 80-85.
- Rabier F., J.-F. Mahfouf et E. Klinker, 2000 : Une nouvelle technique d'assimilation des données d'observation au CEPMMT : l'assimilation variationnelle quadrimensionnelle. *La Météorologie* 8^e série, 30, 87-101.
- Ratier A., H. Roquet, J. Schmetz et S. Sénési, 2003 : L'imagerie géostationnaire et son évolution. *La Météorologie* 8^e série, 40, 74-79.