

# Les débuts de la météorologie spatiale

Michel J. Rochas

La première description de l'atmosphère terrestre vue de l'espace est sans doute due à Jules Verne, dans *Autour de la lune* (1869). Ce que voient les trois héros de cette première aventure spatiale, Michel Ardan, le capitaine Nicoll et Impey Barbicane, est cependant très peu de choses : « *Ce croissant [terrestre] se présentait sous des dimensions considérables. On eût dit un arc énorme tendu sur le firmament. Quelques points, vivement éclairés, surtout dans la partie concave [du croissant terrestre], annonçaient la présence de hautes montagnes ; mais ils disparaissaient parfois sous d'épaisses taches qui ne se voient jamais à la surface du disque lunaire. C'étaient des anneaux de nuages disposés concentriquement autour du sphéroïde terrestre.* » Ces anneaux de nuages sont sans doute une réminiscence des divisions « climatiques » de la Terre dues aux auteurs grecs, dont Aristote ou Strabon (lire par exemple Rémy, 2008).

Il a fallu près d'un siècle pour arriver à une description plus réaliste que celle sortie de l'imagination de Jules Verne. En effet, dès 1947, une fusée lancée du polygone de tir de White Sands (Nouveau-Mexique, États-Unis) a pris la première photographie de la Terre vue au-delà de 100 kilomètres. Elle montre pour la première fois la couverture nuageuse vue de l'espace, mais donne aussi la première preuve directe de la « sphéricité » de la Terre. Les expériences de ce type se sont multipliées aux États-Unis dans les années qui ont suivi et ont conduit à un rapport de la Rand Corporation daté de 1951 intitulé *Meteorological Satellites*, classifié, qui comprenait une annexe due à Jacob Bjerknes dans laquelle il donnait l'interprétation météorologique de plusieurs

jeux de photographies prises au-dessus du Nouveau-Mexique. En 1954, une fusée *Aerobee* de l'US Navy a photographié une perturbation du golfe du Mexique, dont la complexité n'avait jamais été imaginée. La répartition des précipitations observées à l'intérieur des terres n'a pu être comprise qu'à l'aide des images de la fusée. La même année, Harry Wexler (1954), directeur de la recherche au Weather Bureau, a présenté sa vision de l'observation du temps à partir d'un satellite de la Terre à la British Interplanetary Institution.

## L'Année géophysique internationale

À la même époque, naissait l'Année géophysique internationale (Rochas, 2003). Pour celle-ci, les États-Unis avaient prévu de lancer des satellites artificiels de la Terre. De même que les Soviétiques. Il y avait évidemment trois candidats américains pour avoir l'honneur d'être le premier : l'US Army avec l'arsenal de Redstone (et Wernher von Braun) est prête, l'US Air Force aussi, la Navy est candidate, forte de ses fusées *Viking* et *Aerobee*, pour l'étude de la haute atmosphère. La solution choisie fait maintenant sourire ; convaincue de sa supériorité technologique (réelle, comme la suite de l'histoire l'a montré, mais fragile), la Maison Blanche décide en 1955 que le premier satellite artificiel américain serait lancé par une fusée de l'US Navy (donc pratiquement civile, mais qui n'existait pas encore), dans le cadre du projet Vanguard (la fusée et le satellite portent le même nom). Ce sera un immense fiasco (les Américains parlent

## Résumé

Cet article décrit la difficile naissance du premier programme de satellites météorologiques américains Tiros et donc de la météorologie spatiale. Il montre, de plus, que dès les toutes premières années d'exploitation de ces satellites, c'est toute la vision des phénomènes météorologiques synoptiques qui a été bouleversée.

## Abstract

### The beginnings of satellite meteorology

This paper describes the birth of Tiros, the first American meteorological satellite program. It is shown how in the very first years of the life of these satellites a new vision of the synoptic meteorological phenomena was being formed, thanks to its television pictures.

d'un « ill-fated program », programme maudit). Le seul avantage de *Vanguard* était d'être basé sur une fusée « civile », c'est-à-dire qui n'avait pas été développée comme missile à des fins militaires, ce qui était le cas de Redstone, et d'être très élançée (c'est esthétique, mais les moteurs ont engendré des vibrations qui ont été fatales pour la fusée ; seuls trois lancements de satellites sur onze ont été des succès !). Rétrospectivement, la situation est tellement risible que l'on ne comprend pas ce qui s'est passé dans la tête des dirigeants américains. Wernher von Braun (l'US Army) était prêt à lancer un satellite dès 1956, mais cela lui a été interdit en haut lieu ; cependant, tout en obéissant formellement, il a continué ses travaux pour développer un lanceur et finalement aboutir en 1958, avec *Explorer 1* ; les États-Unis n'avaient plus le choix, nécessité oblige<sup>(1)</sup>.

## Genèse du programme

Il y a, à la création du programme *Tiros*, l'idée de transmettre des images de la Terre à partir d'une caméra de télévision installée à bord d'un satellite artificiel de la Terre. Le but réel de l'étude primitive n'est pas aussi clair qu'il paraît, il peut être militaire ou météorologique, mais les deux ne sont évidemment pas exclusifs. Il prend racine dans une étude de la RCA (Radio Corporation of America) pour la Rand Corporation, sous contrat de l'US Air Force, en 1951, dont l'objectif était d'évaluer le potentiel de la méthode et dont les conclusions étaient plutôt positives. Ce rapport a conduit à plusieurs projets.

En 1956, l'ABMA (Army Ballistic Missile Agency) a passé un contrat pour mettre en œuvre sa faisabilité à l'aide de la fusée *Jupiter C* de l'US Army, basée sur un premier étage Redstone, un missile évidemment militaire, dérivé de la fusée V2 allemande. C'est une fusée

basée sur ce même missile qui a assuré la mise en orbite du premier satellite américain le 31 janvier 1958, *Explorer 1*. Le programme a été ensuite étendu par le Département de la Défense (Department of Defense, DOD) et l'ABMA vers une mission plus particulière, celle de la recherche de cibles militaires et de leur localisation depuis l'espace. Un nouveau contrat est alors alloué à la RCA pour mettre en œuvre le principe. Le satellite devait alors être lancé par une fusée *Juno II*, et le contrat comprenait l'ensemble du système, depuis le satellite jusqu'au segment sol. L'ABMA était responsable du lanceur, celle de la charge utile et du segment sol devant être transférée au Signal Corps.

En avril 1958, le DOD crée l'Advanced Research Project Agency (Arpa, devenue ensuite Darpa, D pour Defense), chargée de mettre de l'ordre dans la prolifération des projets de satellites entre les trois armées. Elle décide de transformer le projet de satellite espion<sup>(2)</sup> en un projet de satellite météorologique. La caméra initialement projetée (composée d'un tube Vidicon, nouvellement développé) était plus proche des préoccupations des météorologistes que des besoins des militaires. Ces derniers d'ailleurs sont partis sur d'autres projets, notamment Corona, dans lequel des photographies prises d'un satellite sont renvoyées sur terre et récupérées en l'air près de Hawaii par des avions munis de filets et des équipages spécialement entraînés à cet exercice difficile de pêche au satellite. Cela permettait d'obtenir, en temps légèrement différé (quelques jours, à condition que la récupération se fasse), des images de résolution spatiale très nettement meilleure (7,5 m au début, en 1959-1960) que celles des satellites météorologiques projetés, donc plus conformes aux besoins militaires.

L'Arpa décide de créer un comité pour définir le contenu d'un satellite météorologique, présidé par William Kellogg. Celui-ci a fait des propositions assez larges, dont beaucoup ont été retenues, mais pas, en particulier, celle d'une troisième caméra de télévision avec une résolution horizontale de 100 mètres.

Mais l'Arpa décide aussi de consacrer les lanceurs prévus pour *Tiros* au programme *Explorer* et de transférer ce dernier sur une fusée *Thor*, ce qui impliquait de nombreux changements. Initialement, le satellite devait avoir une forme de crayon, comme *Explorer 1*. Cette contrainte était alors relaxée, et la masse autorisée était aussi plus

importante. Mais, cela entraînait en outre un changement de responsabilité, qui passait de l'ABMA (armée de terre) à l'US Air Force. Le programme a survécu à ce changement, qui a entraîné des retards.

En 1958, a été créée la Nasa (National Aeronautics and Space Administration) pour mettre un peu d'ordre dans cette débauche d'énergie dans l'activité satellitaire étatsunienne. Le programme *Tiros* lui a été transféré au début de 1959, mais ce transfert n'a pas eu d'impact sur ce programme déjà très avancé – en particulier la RCA restait le maître d'œuvre du satellite –, d'autant plus que des laboratoires de recherche et développement impliqués dans le programme lui avaient déjà été affectés.

La réussite du programme est remarquable vu le cadre mouvant dans lequel il a été développé. Le maître d'ouvrage a changé trois fois en quelques années, le lanceur autant de fois, le satellite est passé de 9 à 120 kg et ses missions ont été complètement revues. Le lecteur intéressé par les balbutiements du programme trouvera de plus amples détails dans X (1959), rapport anonyme et non daté, mais écrit entre la mi-1959 et le lancement de *Tiros 1*.

## Lancement du premier satellite

C'est le 1<sup>er</sup> avril (le « fool's day », pour les Américains) 1960, tôt le matin, qu'une fusée *Thor Able*, développée par Douglas Aircraft, s'élançait de Cap Canaveral (Floride) emportant le premier satellite météorologique, qui porte le nom de *Tiros 1* (figure 1). *Tiros* signifie

Figure 1 – Le lancement de *Tiros 1*, le 1<sup>er</sup> avril 1960, à partir de Cap Canaveral (Floride). (© NOAA)



(1) Après le lancement de Spoutnik 1, vécu comme une catastrophe du côté américain, il propose de lancer un satellite dans un délai de deux mois ; la réponse des officiels est négative : trois mois ! Entre temps, le lancement du premier satellite Vanguard a échoué le 6 décembre 1957, la fusée n'était pas prête, mais il fallait à tout prix essayer le lancement, après deux succès soviétiques.

(2) En 1958, un sous-contrat de la RCA avait été passé pour développer un télescope Cassegrain de 8 pouces (plus de 20 cm) pour le satellite. Celui-ci n'était à l'évidence pas prévu pour une application météorologique ! Ce n'est qu'en 1978 que sur *Tiros/N*, l'AVHRR utilisera un télescope de Mersenne de la même taille.



Figure 2 - Composants du satellite *Tiros*. Au premier plan on voit un enregistreur magnétique entre les deux caméras de télévision. (© NOAA)

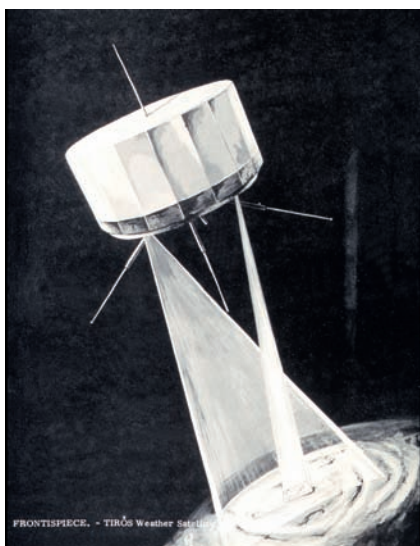
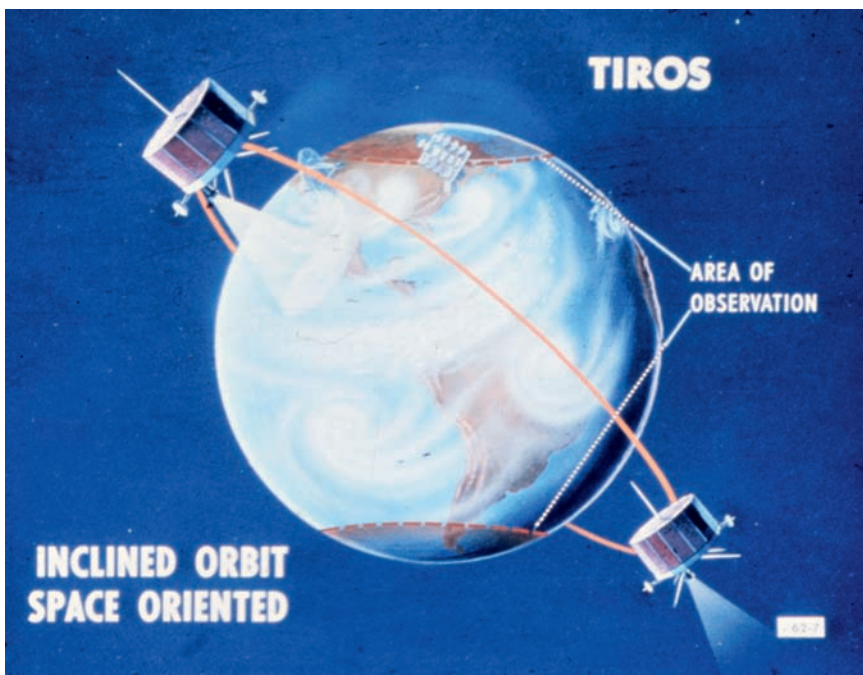


Figure 3 - Vue d'artiste du fonctionnement des deux caméras de télévision de *Tiros I*. (© NOAA)



prises de vues à partir du sol, jusqu'à trois orbites à l'avance. De plus, en même temps que les images enregistrées sont transmises, l'image en cours de formation est émise en temps réel par un troisième émetteur. La redondance dans les transmissions sera ajoutée sur les mesures infrarouges à partir de *Tiros II*.

Dans les deux stations de réception, les images sont enregistrées sur des films pour archivage et photographiées pour être traitées immédiatement, du moins celles qui le méritent, par des météorologues. Ceux-ci élaborent alors des néphanalyses qui sont transmises par fac-similé au Weather Bureau et d'autres centres de prévision américains. C'est sans doute de ces limitations que vient le peu d'enthousiasme que ces images ont suscité auprès des prévisionnistes non spécialistes, car il fallait une solide expérience pour en donner une interprétation météorologique.

## Les réactions dans la presse

Dans la presse américaine, le succès est immédiat. Pourtant, les États-Unis ont déjà lancé un grand nombre de satellites, beaucoup plus que les Soviétiques (du moins pour ceux qui sont avoués), sans compter les satellites espions dont l'existence n'était pas révélée officiellement ; mais dans le cas de *Tiros I*, il s'agissait d'annoncer une révolution dans la prévision du temps.

Le 2 avril 1960, *The New York Times* titre (les « headlines » anglo-saxonnes sont difficilement traduisibles en français) : « *Les USA lancent un satellite météorologique. Il télévisé la Terre et les tempêtes. Une nouvelle ère commence en météorologie* » (cité par *Weatherwise* en avril 1960).

En première page, figure également un article du correspondant du journal à Cap Canaveral, avec pour chapeau : « *Deux caméras en œuvre. Un véhicule de 270 livres transmettra des images pendant trois mois. De gros progrès attendus pour la prévision.* »

En page 4, on apprend aussi qu'une caméra envoie des images couvrant 800 miles carrés (environ 2 000 km<sup>2</sup>), l'autre des images plus grandes.

Figure 4 - Illustration de l'orientation par rapport à la Terre des caméras des premiers *Tiros*. (© NOAA)

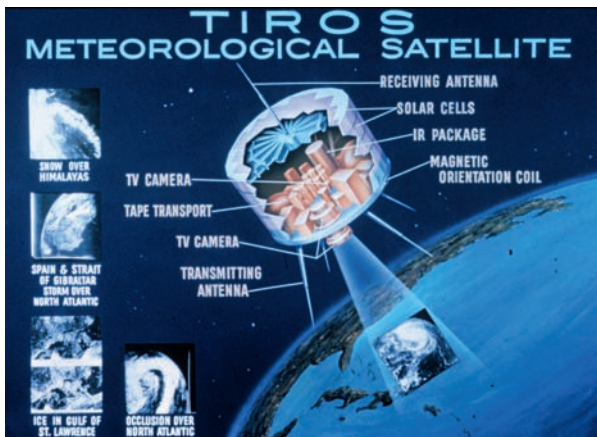


Figure 5 - Vue d'artiste des premiers *Tiros* et illustration de quelques images prises. (© NOAA)

En page 22, il y a encore un court article intitulé « *Un météorologiste dans l'espace* ».

Dans la presse météorologique américaine, les réactions sont plus mitigées, voire complexes à analyser.

Le *Bulletin de l'American Meteorological Society (AMS)* n'est pas très bavard sur le sujet ; il existait visiblement une rivalité entre l'AMS et le service météorologique américain (voir plus loin). Dans son numéro de juin, il annonce très brièvement que le satellite a filmé un cyclone au large de l'Australie. En effet, dès le 9 avril, un cyclone est visible sur les images de *Tiros I* au-dessus de la mer de Corail (située entre l'Australie, la Nouvelle-Calédonie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée). C'est le premier cyclone détecté par un satellite, huit jours seulement après son lancement, et c'est le début d'un des plus grands succès des premiers satellites météorologiques américains : lorsque le programme sera opérationnel, plus aucun cyclone n'échappera à la vigilance des météorologistes américains.

Dans le numéro de septembre de la même revue, est annoncé l'ajout d'une session sur *Tiros I* au congrès annuel de l'AMS. Et, en décembre 1960, est donné le programme du futur congrès de l'AMS (New York, 23-26 janvier 1961) avec douze communications dans la session nouvellement créée intitulée « Analysis of *Tiros* observations ».

En pratique, c'est la revue *Monthly Weather Review (MWR)*, qui est alors éditée par le service météorologique

(1) *Monthly Weather Review* est devenue une publication de l'American Meteorological Society à partir du numéro 1 du volume 102, en janvier 1974.

américain<sup>(1)</sup>, qui donne le plus de détails sur ce qui est en train de se passer. Le numéro de mars (vous avez bien lu, ce n'est pas une erreur, il a donc dû paraître en retard) de *MWR* publie plusieurs articles sur les images reçues de *Tiros*. Fritz et Wexler (1960) reproduisent un grand nombre d'images de *Tiros*, dont une image du cyclone

évoqué précédemment. Winston (1960) décrit un cut-off au-dessus du Pacifique est, et Bristor et Ruzecki (1960) l'orage qui a eu lieu le 1<sup>er</sup> avril dans le midwest américain.

Le sujet des analyses des images se diversifie aussi (figure 5). En mai, Wark et Popham (1960) présentent des observations de glace au-dessus du Saint-Laurent. Schuetz et Fritz (1961) décrivent des rues de nuages au-dessus de la mer des Caraïbes. Oliver présente sur la couverture du numéro d'octobre 1960 de la revue de l'AMS *Weatherwise* la superposition des images de l'Atlantique nord prises sur trois orbites successives avec une analyse au sol, montrant ainsi le lien que l'on peut faire entre la météorologie synoptique classique et les images satellitaires et le rôle qu'elles pourraient jouer dans l'interpolation des mesures au sol. Krueger et Fritz (1961) ont présenté aussi des structures nuageuses cellulaires pour la première fois vues de l'espace. Whitney et Fritz (1961)

décrivent un système nuageux qui a engendré des tornades aux États-Unis. Oliver et al. (1964) illustrent plusieurs cas de détection de jet-streams à partir des satellites *Tiros*. C'est donc une vision différente des phénomènes météorologiques qui émerge grâce aux satellites.

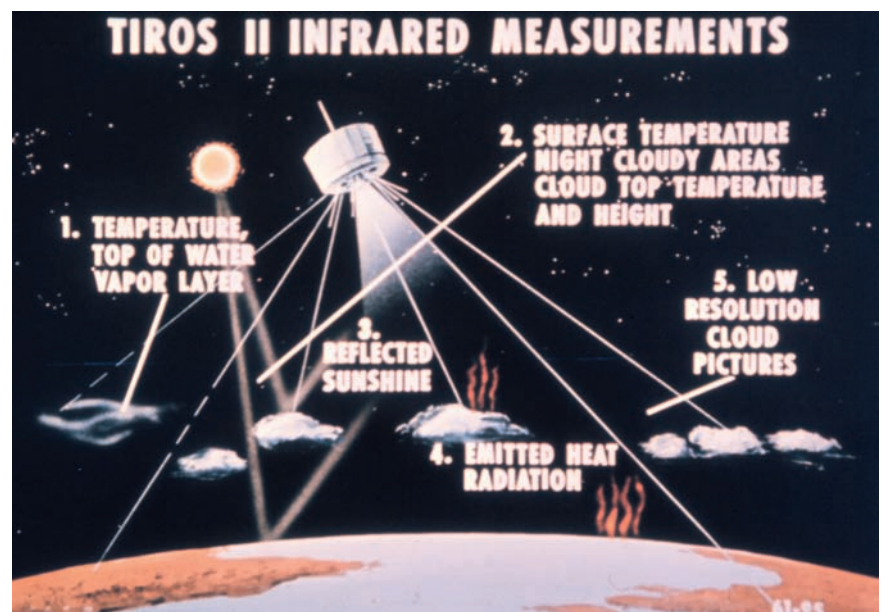
On voit que les images de *Tiros I* ont rapidement suscité un grand enthousiasme, mais celui-ci est limité à un cercle assez restreint de spécialistes et de chercheurs. Les images satellitaires ne pénétreront vraiment les services de prévision que le jour où elles n'auront plus besoin de médiateurs.

*Tiros I* n'a vécu que 78 jours, il a cessé de fonctionner le 15 juin 1960, à cause d'une panne électrique. Il était alimenté par des batteries cadmium-nickel qui étaient rechargées par 9 200 cellules photoélectriques réparties sur ses faces. Il a transmis 22 952 images qui ont conduit à 333 néphanalyses, c'est-à-dire plus de quatre par jour, en moyenne.

## La suite du programme

Le deuxième *Tiros* (figure 6) est lancé le 23 novembre 1960 et restera en service 376 jours, beaucoup plus que son prédécesseur. Les 36 156 images qu'il a transmises ont donné lieu à 455 néphanalyses. Il est équipé du Medium Resolution Infrared Radiometer, dont les images resteront évidemment limitées à un cercle très restreint de chercheurs.

Figure 6 - Schéma des mesures faites par *Tiros II* dans l'infrarouge. (© NOAA)



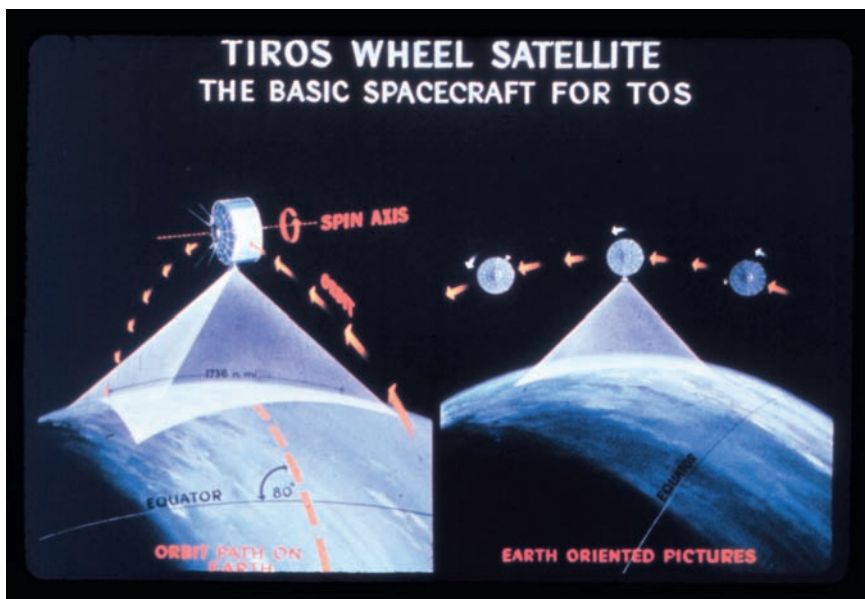


Figure 7 - Illustration du fonctionnement du mode « wheel » introduit sur *Tiros IX*. (© NOAA)

Dix satellites composent la première série de *Tiros*, dont les lancements s'étalent sur cinq ans (voir tableau). Au cours de cette première série de satellites météorologiques américains, plusieurs améliorations importantes sont apportées.

Avec *Tiros VIII* est introduite la diffusion APT (Automated Picture Transmission), diffusion d'images en temps réel, qui permet à de nombreux services météorologiques de par le monde de recevoir les images prises par les satellites passant au-dessus de leur territoire (ou du moins de la partie télévisée en vue de leurs stations de réception). Cette possibilité avait été annoncée dès

le 4 avril 1960, mais a attendu longtemps pour être mise en œuvre, et encore de façon assez progressive. Le coût d'une station de réception APT était faible et, en 1965, cent vingt pays en étaient équipés. Ce succès a fait qualifier l'APT par Popham (1985) d'un des meilleurs ambassadeurs des États-Unis. Il ne faut pas oublier que nous sommes encore à l'époque de la guerre froide.

À partir de *Tiros IX*, est introduit ce que les spécialistes appellent le « cartwheel mode », qui permet au satellite de pointer ses caméras vers la Terre en permanence, améliorant ainsi fortement sa couverture terrestre et la navigation des

images. Le satellite tourne autour d'un axe qui est perpendiculaire à la fois à sa trajectoire et au nadir ; tout se passe comme s'il roulait sur sa trajectoire (figure 7). Enfin, l'orbite héliosynchrone<sup>(1)</sup> est utilisée à partir de *Tiros IX*, ce qui permet la réalisation d'images composites de la Terre. Les quatre premiers satellites de la série avaient, en effet, une orbite inclinée à 48° et les quatre suivants à 58°, améliorant ainsi la couverture des régions arctiques.

Il faut noter que le programme *Tiros* aurait dû être suivi de la série opérationnelle de satellites du programme *Nimbus* à partir de 1962 ; mais ce programme avait pris tellement de retard que le National Weather Service s'en est retiré en coupant ses crédits en 1963. Cela n'a toutefois pas empêché le premier satellite de cette nouvelle série d'être lancé en 1964 par la Nasa, mais sans finalité opérationnelle. Elle était pourtant appelée à un bel avenir. Sept exemplaires ont été lancés entre 1964 et 1978 ; ils ont été les plus lourds satellites météorologiques de leur époque et, comme ils emportaient un générateur électrique nucléaire en plus des panneaux solaires, ils ont souvent eu des durées de vie très longues. Ils ont permis de tester de nombreux instruments qui ont été utilisés par la suite sur des satellites opérationnels. On peut citer un spectromètre interférométrique infrarouge (Iris), un sondeur infrarouge à haute résolution (HRIRS), un instrument de mesure de la couleur des océans (CZCS), des instruments de mesure de l'ozone (dont le Toms), des sondeurs micro-ondes (SHS), etc.

Caractéristiques des premiers satellites *Tiros*. On peut voir une évolution vers des orbites polaires, mais aussi une certaine imprécision dans les lancements, notamment pour *Tiros VII* et *Tiros IX*. (Source : [www.astronautix.com/craft/tiros.htm](http://www.astronautix.com/craft/tiros.htm) et [www.astronautix.com/craft/tos.htm](http://www.astronautix.com/craft/tos.htm))

Nom	Date de lancement	Poids (kg)	Inclinaison	Période (minutes)	Apogée (km)	Périogée (km)
Tiros I	1 <sup>er</sup> avril 1960	120	48,40°	98,30	696	656
Tiros II	23 novembre 1960	130	48,50°	96,30	610	547
Tiros III	12 juillet 1961	129	47,90°	100,00	790	723
Tiros IV	8 février 1962	129	48,30°	99,90	812	693
Tiros V	19 juin 1962	129	58,10°	99,40	880	580
Tiros VI	18 septembre 1962	127	58,30°	97,60	654	631
Tiros VII	19 juin 1963	135	58,20°	91,40	349	338
Tiros VIII	21 décembre 1963	119	58,50°	98,50	705	667
Tiros IX	22 janvier 1965	138	96,40°	119,00	2 563	705
Tiros X	2 juillet 1965	127	98,80°	100,10	807	722
Essa 1	3 février 1966	138	97,80°	99,70	806	684
Essa 2	28 février 1966	132	101,30°	113,50	1 415	1 355
Essa 3	2 octobre 1966	145	100,90°	114,60	1 486	1 387
Essa 4	26 janvier 1967	132	102,00°	114,40	1 440	1 326

En 1966, le programme se poursuit avec la série de satellites opérationnels *TOS* (*Tiros Operational Satellite*) qui comporta neuf membres nommés *Essa*, du nom de l'administration chargée du programme (Environmental Science Services Administration). Vint ensuite la série *Itos* (Improved TOS, TOS amélioré) à partir de 1970. Le troisième *Itos*, nommé *NOAA 2*, introduit enfin un radiomètre, le VHRR (Very High Resolution Radiometer), à la place des caméras Vidicon, et un premier radiomètre à plusieurs canaux pour la détermination des profils verticaux de température, le VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer).

(1) Voir l'article de Genty (1999). Le premier satellite héliosynchrone a été Samos 2, un satellite militaire américain lancé en 1961. Pour rendre l'orbite héliosynchrone – le satellite passe tous les jours, à la même heure, au-dessus d'un même lieu – on joue sur le fait que la Terre n'est pas sphérique pour trouver des orbites dont le plan tourne de un jour par an, grâce à l'influence du bourrelet équatorial terrestre.

## Épilogue

Nous terminons cette histoire avant *Tiros/N*, lancé en vue de la première expérience mondiale du Garp (programme de recherches sur l'atmosphère globale), en 1978. Cette série, nommée aussi *NOAA*, aurait dû se terminer il y a longtemps, suite à la décision du président Clinton en 1994 de remplacer le système de quatre satellites défilants américains civils (*NOAA*) et militaires (*DMSP*) par trois, le quatrième étant fourni par l'Union européenne (c'est *MetOp*). Ce nouveau programme est administré par

l'Integrated Program Office qui regroupe la NOAA, le DOD et la Nasa. En 2010, la décision n'a toujours pas été mise en œuvre, elle a donc pris beaucoup de retard, mais c'est une autre histoire.

Le cinquantième anniversaire de la météorologie spatiale n'a bizarrement pas fait l'objet de beaucoup de publications. On citera Menzel et Phillips (2009), et Kidder et Vonder Haar (2010). Les derniers montrent, entre autres, les progrès hallucinants faits par l'imagerie spatiale en cinquante ans. Il faut toutefois signaler l'existence d'un

important site Internet créé pour l'occasion par la NOAA (Ressources on Tiros and satellite meteorology. NOAA Central Library Network<sup>(1)</sup>) qui donne accès en ligne à une impressionnante collection de documents, rapports anciens, photographies et films vidéo. Mais pour l'histoire de la météorologie satellitaire, l'article de Purdom et Menzel (1996) reste intéressant, avec le livre de Kidder et Vonder Haar (1995).

(1) [www.lib.noaa.gov/collections/TIROS/tiros.html](http://www.lib.noaa.gov/collections/TIROS/tiros.html).  
Les illustrations de l'article proviennent de ce site.

## Bibliographie

- **Bristor C. L.** et **M. A. Ruzecki**, 1960 : Tiros I photographs of the midwest storm of April 1, 1960. *Mon. Wea. Rev.*, 88, 315-326.
- **Fritz S.** et **H. Wexler**, 1960 : Cloud pictures from satellite Tiros I. *Mon. Wea. Rev.*, 88, 79-87.
- **Genty R.**, 1999 : La naissance du satellite héliosynchrone. *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série, 25, 16-22.
- **Kidder S. O.** et **T. H. Vonder Haar**, 1995 : *Satellite Meteorology*. Academic Press, 466 p.
- **Kidder S. O.** et **T. H. Vonder Haar**, 2010 : Observing Weather from Space. *Science*, 327, 1085-1086.
- **Krueger A. F.** et **S. Fritz**, 1961 : A cellular cloud pattern revealed by Tiros I. *Tellus*, 13, 1-7.
- **Menzel W. P.** et **J. M. Phillips**, 2009 : Satellite meteorology. How it all started, 50 years ago. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 90, 1435-1436.
- **Oliver V. J.**, **R. K. Anderson** et **E. W. Ferguson**, 1964 : Some examples of detection of jet-streams from Tiros photographs. *Mon. Wea. Rev.*, 92, 441-448.
- **Popham R.**, 1985 : Setting the stage, the direct broadcast community: who, what, and where. *Second Int. Satellite Direct Broadcast Services Users' Conf.*, Baltimore, U.S. Dept. Of Commerce, 22-23.
- **Purdom J. F. W.** et **W. P. Menzel**, 1996 : Evolution of satellite observations in the United States and their use in meteorology. *Historical essays on meteorology 1919-1995: the Diamond Anniversary history volume of the American Meteorological Society*. J. R. Fleming ed., chap. 5, 99-156.
- **Rémy F.**, 2008 : *Histoire de la glaciologie*. Vuibert, Paris, 170 p.
- **Rochas M.**, 2003 : L'Année géophysique internationale et la naissance de la météorologie moderne. *La Météorologie*, 8<sup>e</sup> série, 40, 23-27.
- **Schuetz J.** et **S. Fritz**, 1961 : Cloud streets over the Caribbean Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 89, 375-382.
- **Verne J.**, 1869 : *Autour de la Lune*. [www.ebooksgratuits.com](http://www.ebooksgratuits.com).
- **Wark D. K.** et **R. W. Popham**, 1960 : Tiros I observations of ice in the gulf of Saint Lawrence. *Mon. Wea. Rev.*, 88, 182-186.
- **Wexler H.**, 1954 : Observing the weather from a satellite vehicle. *Brit. Interplan. Soc.*, 13, 269-276.
- **Whitney L. F. Jr** et **S. Fritz**, 1961 : A tornado-producing cloud pattern seen from Tiros I. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 42, 603-614.
- **Winston J. S.**, 1960 : Satellite pictures of a cut-off cyclone over the eastern Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 88, 295-314.
- **X**, 1959 : *Tiros I: The system and its evolution*. [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19650020963\\_1965020963.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19650020963_1965020963.pdf).