



Les satellites artificiels

DES OBSERVATEURS DE L'ESPACE



Un satellite artificiel est un engin spatial mis en orbite autour d'un corps céleste. La majorité gravite autour de la Terre, mais d'autres planètes du système solaire ont aussi leurs satellites artificiels. Par exemple, Mars Express tourne autour de la planète rouge depuis décembre 2003. Cependant, les spécialistes préfèrent nommer sondes ce type d'engins d'exploration spatiale. Ils distinguent aussi les « familles » et les « constellations » de satellites. Le terme de « famille » désigne un même type de satellites dont chacune des versions successives connaît des améliorations, tels les satellites SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre). Les constellations, quant à elles, désignent des satellites fonctionnant en réseau. Les satellites d'une constellation sont parfois dissemblables mais toujours complémentaires, afin d'assurer une tâche précise.

SATELLISATION

La satellisation consiste à donner la vitesse adéquate à un satellite pour qu'il gravite autour d'un astre. En pratique, elle ne peut avoir lieu en deçà d'une certaine altitude pour les astres possédant une atmosphère. Pour la Terre, par exemple, la satellisation n'est possible qu'au-delà de 200 km d'altitude. L'atmosphère freine le satellite qui perd inexorablement de l'altitude. Ainsi, pour des orbites circulaires, la durée de vie d'un satellite est de quelques jours à 200 km, quelques années à 400 km, quelques siècles à 800 km et plus d'un million d'années à 36 000 km. La vitesse du satellite au point d'injection, c'est-à-dire lorsque les moteurs sont coupés, déterminera sa trajectoire. Si la vitesse est trop faible, le satellite a une trajectoire



ballistique et retombe sur Terre. En orbite basse (200 km), cette

vitesse, appelée première vitesse cosmique, vaut environ 7,9 km/s et permet la satellisation sur une orbite circulaire. D'un autre côté, si la vitesse est trop élevée, le satellite acquiert une trajectoire parabolique et échappe à l'attraction de la Terre. Cette vitesse critique est appelée seconde vitesse cosmique et vaut environ 11,2 km/s en orbite basse. Entre la première et la deuxième vitesse cosmique, les orbites sont elliptiques. Le périhélie (point d'une orbite le plus proche de la Terre) se trouve au point d'injection et l'apogée (point d'une orbite le plus éloigné de la Terre) dépend de la vitesse d'injection. Citons aussi la troisième vitesse cosmique qui correspond à la vitesse minimale d'un corps au-delà de laquelle il quittera le système solaire. Elle vaut environ 16,6 km/s en orbite basse.

LA STRUCTURE DES SATELLITES

Le squelette des satellites, appelé plate-forme, porte les systèmes vitaux et les capteurs du satellite. Les capteurs peuvent être des systèmes passifs : caméras pour l'observation de la Terre ou récepteurs radio avec parabole pour les satellites de communication. Ils peuvent aussi être actifs comme les radars imageurs qui équipent beaucoup de satellites d'observation de la Terre. Les données des instruments sont traitées puis stockées dans l'ordinateur central jusqu'à ce qu'un relais terrestre soit visible, à moins qu'un relais en orbite géostationnaire ne soit utilisé. En pratique, elle ne peut avoir lieu en deçà d'une certaine altitude pour les astres possédant une atmosphère. Pour la Terre, par exemple, la satellisation n'est possible qu'au-delà de 200 km d'altitude. L'atmosphère freine le satellite qui perd inexorablement de l'altitude. Ainsi, pour des orbites circulaires, la durée de vie d'un satellite est de quelques jours à 200 km, quelques années à 400 km, quelques siècles à 800 km et plus d'un million d'années à 36 000 km. La vitesse du satellite au point d'injection, c'est-à-dire lorsque les moteurs sont coupés, déterminera sa trajectoire. Si la vitesse est trop faible, le satellite a une trajectoire

ORBITES REMARQUABLES

L'orbite désigne la trajectoire du satellite soumis à l'attraction de l'astre autour duquel il gravite. Il existe différents types d'orbites, les principales étant circulaires ou excentriques.

LES ORBITES CIRCULAIRES

Sur une orbite circulaire, les satellites ont une vitesse constante. Cette vitesse est d'autant plus faible que l'altitude du satellite est élevée.

Les orbites polaires

Ces orbites ont une inclinaison proche de 90°. Elles passent alors pratiquement à la verticale des pôles. Elles permettent de balayer la totalité de la surface du globe en quelques jours. Un type particulièrement intéressant d'orbite polaire est l'orbite héliosynchrone. Dans ce cas, le plan de l'orbite tourne de manière à former un angle constant avec la direction Terre-Soleil. Cette propriété permet d'obtenir des satellites dont l'heure de passage au-dessus d'un lieu donné est toujours la même. Ainsi les conditions d'éclairage varient seulement avec les saisons. Les orbites héliosynchrones conviennent particulièrement aux satellites d'observation de la Terre.

Les orbites géostationnaires

En 1945, l'écrivain puis astronome **Arthur Charles Clarke** prédit



l'avènement de satellites de communication sur l'orbite géostationnaire. Il s'agit d'une orbite circulaire située à une altitude de

36 000 km d'inclinaison 0°, c'est-à-dire à la verticale de l'équateur. À cette altitude, l'orbite est décrite en 24 heures. Le satellite est alors immobile par rapport aux coordonnées géographiques. Cette propriété permet d'assurer la continuité des télécommunications sur une vaste étendue, un satellite en orbite géostationnaire « voyant » 42 % du globe. Cette orbite est aussi utilisée pour la météorologie et la surveillance militaire.

LES ORBITES EXCENTRIQUES

La vitesse d'un satellite sur une orbite excentrique n'est pas uniforme. Elle est maximale au périhélie et minimale à l'apogée. Du fait de la rotation de la Terre et de l'inclinaison de l'orbite, il est possible d'obtenir des traces (projection de la trajectoire du satellite sur le globe)

particulièrement intéressantes. Ainsi les satellites de communication russes Molnya sont placés sur une orbite très elliptique. L'apogée se trouve au-dessus de la Russie. De ce fait, la rotation de la Terre aidant, les satellites Molnya décrivent une boucle qui leur permet de rester 8 heures au-dessus du territoire russe. Il suffit alors de disposer de trois satellites Molnya pour obtenir une couverture complète et continue. Ce type de satellites est plus intéressant pour la Russie que les satellites géostationnaires car ils couvrent mieux les hautes latitudes. Le même type d'orbite sert aux militaires pour couvrir sur de longues périodes des zones géographiques stratégiques.

LES APPLICATIONS SCIENTIFIQUES

ASTRONOMIE, ASTROPHYSIQUE

L'accès à l'espace a ouvert de nouvelles fenêtres d'observation à l'astronomie. En effet, l'espace a permis de s'affranchir de l'atmosphère terrestre qui non seulement trouble les images et détériore sensiblement les mesures mais qui, de plus, n'est pas transparente à tout le spectre électromagnétique. Elle absorbe par exemple les rayons X et Gamma, ainsi qu'une partie du spectre infrarouge et ultraviolet. La mise sur orbite des observatoires tels que XMM-Newton 2000 et Integral 2002 a permis l'essor des études du spectre électromagnétique.

PHYSIQUE, BIOLOGIE, PHYSIOLOGIE

La mise sur orbite permet aussi de s'affranchir de la gravité terrestre. Il

est alors possible de tester le principe de l'équivalence entre masse pesante (grandeur intervenant dans l'expression de la force de gravitation) et masse inertielle (rapport entre la force agissant sur un corps et l'accélération qu'elle provoque) ou de rechercher les ondes gravitationnelles émises par des objets massifs dans la galaxie. Les sciences des matériaux s'intéressent aussi à la microgravité pour étudier de nouveaux alliages et la croissance des cristaux. La cristallisation de protéines est de meilleure qualité en condition de microgravité. Les cristaux sont ensuite étudiés au sol pour déterminer la structure spatiale de la protéine, nécessaire à la compréhension de son mode d'action pour envisager la conception de nouveaux médicaments. D'autres études s'intéressent aux effets de la gravité sur l'organisation cellulaire et, en particulier, sur les végétaux qui « savent » reconnaître la verticale du lieu où ils croissent. Les vols habités permettent en outre d'étudier la physiologie humaine. Les retombées sont nombreuses dans la compréhension du système cardio-vasculaire et de l'évolution des tissus osseux et musculaires.

L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE

L'étude de la haute atmosphère, de l'ionosphère et de la magnétosphère terrestres fut historiquement le premier domaine exploré par les scientifiques. Ces régions ne sont en effet pas accessibles depuis le sol. De plus, les satellites, comme les CLUSTER-II, fournissent des mesures en trois dimensions. Le but est de comprendre les transferts d'énergie

Des chiffres satellitaires

1957

Sputnik 1, premier satellite artificiel lancé par l'Union Soviétique

10 000 km/h

Vitesse d'un satellite en orbite géostationnaire

1965

Premier satellite français mis sur orbite

1990



Mise en orbite du télescope spatial Hubble

1 à 10 mètres

Précision du futur système européen de navigation par satellite, GALILEO

2 500

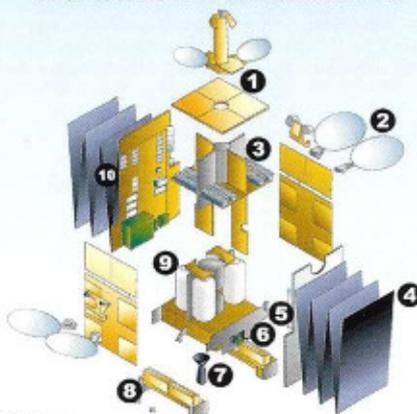
Nombre de satellites autour de la Terre

Octobre 2004



Survol de Titan, principal satellite naturel de Saturne, par la sonde Cassini-Huygens

Architecture d'un satellite artificiel



- 1 Mat d'antenne plateau terre
- 2 Antennes déployables
- 3 Plateau charge utile
- 4 Générateur solaire
- 5 Module de service
- 6 Propulseur plasmique
- 7 Moteur d'apogée
- 8 Batteries
- 9 Réservoir de propulsion bi-liquide
- 10 Mur charge utile

Les satellites militaires



3/4
des satellites lancés depuis 1957

qui s'opèrent dans les plasmas entourant la Terre et notamment le phénomène des **aurores polaires**



qui naissent de l'interaction entre vent solaire et magnétosphère terrestre.

OBSERVATION DE LA TERRE

MÉTÉOROLOGIE

La météorologie a beaucoup progressé avec le développement des activités spatiales. La prévision de phénomènes météorologiques violents est beaucoup plus fiable, diminuant ainsi en partie leurs impacts. Les **cyclones tropicaux**



sont de bons exemples : détectés dès leur formation dans les eaux océaniques chaudes, ils sont constamment suivis, ce qui permet l'édition de trajectoires fiables. Les avions et les bateaux peuvent alors être détournés et les populations évacuées.

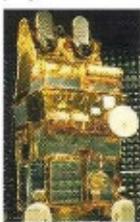
Cinq satellites sont au centre du dispositif de la veille météorologique mondiale qui vise à obtenir une couverture globale, à l'exception des pôles couverts par des satellites en orbites quasi-polaires. Ils fournissent des observations sur l'évolution de la couverture nuageuse et de la température des océans et des continents.

TÉLÉDETECTION

DES RESSOURCES NATURELLES

Aux États-Unis, les photos de la Terre rapportées par les astronautes ont convaincu les scientifiques de l'intérêt d'étudier le globe vu de l'espace. Néanmoins, les réticences des militaires qui ne souhaitaient pas voir proliférer des images photographiques de toute la planète, combinées à la préoccupation majeure de la NASA tournée vers les missions habitées, ont considérablement retardé le programme d'observation de la Terre décidé en 1962. Landsat-1 fut finalement lancé en 1972. Il fut le premier à photographier la totalité de la surface terrestre. Actuellement, Landsat-7, dernier de la famille, a été lancé en 1999.

En 1978, la France a développé le programme civil SPOT. Le satellite



SPOT 1 est lancé le 22 février 1986 et le dernier né, SPOT 5, en mai 2002. L'originalité de la famille SPOT est de disposer de caméras capables de prendre des photos sur le côté.

Ceci permet d'augmenter la fréquence de couverture d'une région donnée, mais aussi de fournir des images

stéréoscopiques très utiles pour obtenir des descriptions appelées modèles numériques de terrain.

Ces programmes utilisent des instruments qui fonctionnent dans le domaine visible et quelques canaux en infrarouge. Ils permettent de surveiller l'évolution annuelle de la végétation. L'étendue de la désertification et de la **déforestation** a ainsi pu être



quantifiée. Les collectivités urbaines peuvent aussi faire appel aux images satellites pour aménager leur territoire. Des cartes peuvent être facilement établies à partir de photos satellites d'une résolution inférieure à 10 m. Par exemple, SPOT 5 affiche une résolution de 2,5 m en mode monochromatique. Cependant ces satellites sont tributaires d'un ciel clair pour pouvoir satisfaire leurs clients.

En 1978, SEASAT-1 démontrait l'intérêt des radars à synthèse d'ouverture en orbite. Ces radars, appelés SAR (« Synthetic Aperture Radar »), sont insensibles aux masses nuageuses et permettent ainsi d'obtenir des images du sol par tous les temps. Utilisés pour suivre l'évolution des **glaces polaires**,



ces radars servent aussi à l'océanographie. Les altimètres radar donnent l'altitude de la surface de la mer à quelques centimètres près, fournissant alors des informations sur les courants océaniques. De ces mesures radars sont déduites la hauteur des vagues, la direction et la vitesse du vent. Ces données sont complétées par celles des radiomètres qui donnent aussi la température de surface des océans. En assurant une couverture complète en quelques jours sur plusieurs années, les satellites ont recueilli beaucoup plus de données que les bateaux océanographiques et ont permis d'établir des modèles globaux du climat et en particulier de l'influence des masses océaniques et des glaces polaires.

LES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Le secteur des télécommunications représente une bonne partie des activités spatiales. Les communications terrestres ont longtemps été limitées par les câbles, vecteurs du signal et par la courbure de la Terre pour ce qui est des ondes radio. Le satellite peut s'affranchir de l'horizon terrestre en prenant de l'altitude. Plus il est éloigné, plus la surface couverte sera grande. La position idéale est l'orbite géostationnaire car, le satellite paraissant fixe dans le ciel, les émetteurs et les récepteurs terrestres

sont fixes pour utiliser les services d'un satellite donné. La télévision a très vite profité de ce développement et, en 1962, les premières images franchissent l'océan Atlantique. Depuis, les satellites jouent aussi le rôle de relais pour le radio, la téléphonie et l'échange de données informatiques. Ils permettent de diffuser ces services dans les zones isolées ou inaccessibles dépourvues d'infrastructure, notamment aux mobiles, comme les bateaux en mer. En cas de catastrophes naturelles, ils peuvent se substituer au réseau local endommagé. Il faut cependant relativiser l'importance des télécommunications spatiales.

Les progrès réalisés dans les fibres optiques améliorent les performances des réseaux câblés qui sont parfois préférés pour certaines applications qui s'accommodent mal des délais de transmission inhérents à l'éloignement des satellites. Ainsi les **télécommunications spatiales** ne



représentent que 3 % du marché des télécommunications. Ces dernières années, la libéralisation du secteur des télécommunications a ouvert la voie à de nombreuses initiatives privées visant à offrir de nouveaux services. L'orbite basse se prête assez bien aux applications haut débit comme le multimédia : les satellites sont plus près de l'utilisateur et la puissance nécessaire est alors moindre. Par contre, le défilement des satellites impose l'envoi de constellations, ce qui alourdit la facture. À l'heure actuelle, de tels dispositifs n'ont pas fait la preuve de leur rentabilité. Le projet IRIDIUM devait par exemple offrir un service de téléphonie à la Terre entière et être opérationnel dès novembre 1998. Cependant, le prix des prestations a découragé les utilisateurs. Pendant un temps, il a été question de détruire la constellation avant qu'elle ne soit rachetée par un industriel proche des milieux militaires américains.

LES APPLICATIONS MILITAIRES

RECONNAISSANCE

Les militaires furent les premiers à investir l'espace pour des missions de reconnaissance. Invisibles, intouchables, les satellites artificiels sont une excellente alternative aux missions de photographie aérienne. Ils permettent de balayer de grandes surfaces sans risque. Cependant les photographies aériennes sont longtemps restées irremplaçables pour obtenir des images à très haute résolution. Le problème de la résolution imposait d'ailleurs de lancer des satellites sur des orbites très basses où

ils ne restaient que quelques jours avant de retomber sur Terre. La courte durée de vie de ces premiers satellites de reconnaissance tenaient aussi à l'emploi de chambres photographiques. Une fois le film renvoyé sur Terre dans une capsule récupérable, le satellite n'était plus opérationnel. Seul l'avènement des caméras numériques CCD, dont les données sont transmises par radio, a autorisé des satellites d'une durée de vie de 3 ans. Actuellement seuls les États-Unis disposent d'un véritable programme de **reconnaissance militaire** dont



la résolution atteint le décimètre en optique et le mètre en imagerie radar. La Russie fait face à des difficultés budgétaires qui n'autorisent plus le maintien de coûteux systèmes de reconnaissance en orbite. Quant à l'Europe, l'idée d'une indépendance sur le marché du renseignement a amené la France, l'Italie et l'Espagne, puis l'Allemagne à se lancer dans le programme HELIOS. Le premier de la famille a été lancé en 1995 et atteignait une précision métrique.

ALERIE PRÉCOCE

Les militaires américains ont rapidement voulu agrandir l'horizon de leurs systèmes de détection de tir de missiles intercontinentaux, reposant sur des radars forcément limités par la courbure de la Terre. Emportant des capteurs infrarouges, ces satellites détectaient la chaleur dégagée par les tirs de missiles. Les évolutions ultérieures, dans les années 90, permirent de détecter et de suivre la trajectoire des missiles de moyenne portée dont la phase de propulsion est plus courte que celle des missiles intercontinentaux. La difficulté vient ensuite de la chaîne de traitement de l'information qui doit être suffisamment rapide et efficace pour pouvoir intercepter le missile en plein vol.

ÉCOUTE ÉLECTRONIQUE

Les satellites d'écoute électronique ont plusieurs objectifs : écouter les communications militaires ou civiles afin d'obtenir des renseignements sur les forces adverses ; détecter les radars antiaériens et antimissiles afin d'identifier leur fréquence et de pouvoir les brouiller en cas de besoin. En cas d'activité inhabituelle, ils peuvent donner l'alerte et identifier le type d'attaque en cours. Déployés en constellations, ils assurent une couverture totale du globe. Malgré le peu d'informations disponibles sur le système soviétique puis russe, il semblerait que leur constellation ait la même structure que la constellation américaine Ferret (Furet). Celle-ci est composée de satellites principaux entourés d'une flotte de sous-satellites offrant une écoute en temps quasi-réel. Des satellites géostationnaires complètent le dispositif, notamment pour relayer les informations au sol.

LIAISONS AVEC LES TROUPES

Pour assurer les liaisons entre le commandement et les troupes, les militaires s'appuient largement sur les satellites de communication. Le Pentagone utilise ainsi des satellites pour les trois quarts de ses **communications longue distance**.



Depuis le début, les soviétiques ont entretenu la confusion entre satellites civils et militaires. Ainsi, la constellation Molnya offrait des services de téléphonie, télévision et des communications gouvernementales et militaires. Après avoir développé un programme spécifique et coûteux, les militaires américains ont proposé d'établir un standard qui permettrait de communiquer avec leurs alliés et qui s'appuierait sur les constellations commerciales.

LOCALISATION, NAVIGATION

Traditionnellement, la localisation d'un point à la surface de la Terre s'effectuait en se référant au Soleil, à la Lune ou aux étoiles. De nos jours, des constellations de satellites servent de grille de référence pour délivrer une localisation beaucoup plus rapide et précise : le GPS est couramment utilisé par les flottes marchandes, les transports aériens et routiers, et même les **voitures particulières**. Il sert



aussi à synchroniser les ordinateurs connectés en réseau. C'est devenu au fil des ans un système tellement stratégique que les Européens ont décidé de s'affranchir du système militaire américain dont personne, et surtout pas le Pentagone ne peut garantir la continuité de service pour un usage civil. L'Union Européenne a donc décidé de financer l'Agence Spatiale Européenne pour développer GALILEO, système de localisation entièrement civil qui devrait être opérationnel en 2008. D'autres systèmes existent et permettent de localiser des balises à la surface du globe. ARGOS est un système français, développé avec l'aide de la NASA et opérationnel depuis 1978. Les balises ARGOS sont suivies par satellites avec une précision de 300 m environ. En outre elles peuvent transmettre des informations aux satellites comme la température de l'eau, de l'air, etc. Elles sont beaucoup utilisées en océanographie pour l'étude des courants marins et pour le suivi d'animaux. Le système de détresse SARSA-COPAS est techniquement dérivé du système ARGOS. Il permet de repérer par satellites les signaux de détresse émis par les balises et d'en déterminer la position avec une précision de 2 km environ.