

# ESOC

## European Space Operations Centre

### Centre européen de contrôle des satellites





# SOMMAIRE

L'Agence spatiale européenne (ESA) investit massivement dans le développement de satellites sophistiqués conçus pour répondre aux besoins de ses différentes Directions.

Le lancement du satellite constitue un temps fort et jouit de l'attention de bon nombre d'observateurs extérieurs. Le plus souvent, ceux-ci se désintéressent de la suite des opérations. Cependant, le lancement ne constitue qu'un début. En effet, une fois dans l'espace, chaque satellite doit accomplir une mission spécifique, que ce soit dans le domaine des télécommunications, de la météorologie, de l'observation de la Terre, de la microgravité, de l'étude du système solaire ou encore de l'astronomie.

L'organisme chargé de veiller à ce que les objectifs de chacune de ces missions soient atteints est le Centre européen de contrôle des satellites ou ESOC (European Space Operations Centre). Sis à Darmstadt, en Allemagne, il fait partie de l'Agence spatiale européenne.

L'ESOC assure la gestion des missions de satellites en réalisant les préparations nécessaires à la mission, dont l'établissement des services et des équipements au sol, puis en assurant la conduite des opérations de mission.

La présente brochure décrit en détail les différentes activités de l'ESOC.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	2
LA PREPARATION DE LA MISSION	5
LA CONDUITE DE LA MISSION	19
LA GESTION DES INCIDENTS	25
APPENDICE 1: Les missions assurées par l'ESOC	31
APPENDICE 2: Abréviations utilisées	32

# INTRODUCTION

L'ESOC a pour rôle de gérer les missions des satellites de l'ESA et de mettre en place, d'exploiter et d'entretenir les infrastructures au sol requises.

## L'exploitation des satellites

L'exploitation d'un satellite recouvre la planification des opérations, la surveillance et le pilotage du satellite, la navigation sur orbite ainsi que le traitement et la transmission des données. Elle assure la réalisation des objectifs de la mission, qu'il s'agisse de la collecte de données scientifiques, météorologiques ou de la fourniture de services de télécommunications.

La surveillance et le pilotage commencent aussitôt que le satellite est séparé du lanceur, leur fonction étant d'activer les systèmes de bord nécessaires pour accomplir les tâches prévues dans l'environnement difficile que constitue l'espace. Peu après, les équipements constituant la charge utile doivent être activés et configurés pour assurer des fonctions programmées selon les souhaits des utilisateurs. La surveillance et le pilotage d'un satellite représentent un travail continu, assuré 24 heures sur 24 durant toute la mission.

Chaque fois que le satellite est visible de la terre, son état ainsi que sa position sont surveillés, une tâche qui comprend l'analyse de jusqu'à 5000 paramètres de télémétrie par minute. Le satellite est piloté depuis la station sol par l'intermédiaire d'instructions télécommandées ayant pour effet de modifier les systèmes de bord ou d'activer l'équipement faisant partie de la charge utile. Une surveillance permanente est nécessaire afin de vérifier l'exécution correcte de jusqu'à 100 commandes par minute.

La navigation représente la série d'opérations permettant d'amener et de maintenir un satellite sur l'orbite voulue et de régler l'orientation du corps de l'appareil ou de l'attitude. Elle recouvre la détermination, le calcul et la régulation de l'orbite et de l'orientation. Les changements d'orbite et d'orientation sont effectués par le biais de manœuvres complexes, commandées depuis la station sol et faisant appel aux micropropulseurs du satellite.

## L'infrastructure au sol

L'ESOC a mis en place une importante infrastructure au sol (couramment appelée «segment sol») permettant de gérer divers types de missions, sachant que chacune d'entre elles comporte différentes exigences et contraintes. Cette infrastructure recouvre l'ensemble des équipements et services requis pour l'exploitation des satellites, dont un réseau de stations sol implantées dans le monde entier, un grand nombre de centres de contrôle, du matériel de traitement des données transmises par la charge utile, des systèmes de pilotage, des systèmes de simulation et de communication. Les équipements terrestres doivent constituer un ensemble extrêmement fiable et d'un entretien aisé. De nouvelles technologies sont intégrées avec toutes les précautions requises dans l'objectif d'une rationalisation des coûts.

Le segment sol est principalement consacré aux missions de l'ESA, mais il peut être mis à la disposition d'autres agences spatiales si nécessaire. L'ESOC est en mesure de fournir toute une série de services, allant du conseil à la gestion complète des missions, aux autres agences spatiales ou à des entreprises industrielles.



Décollage d'un lanceur Ariane-5

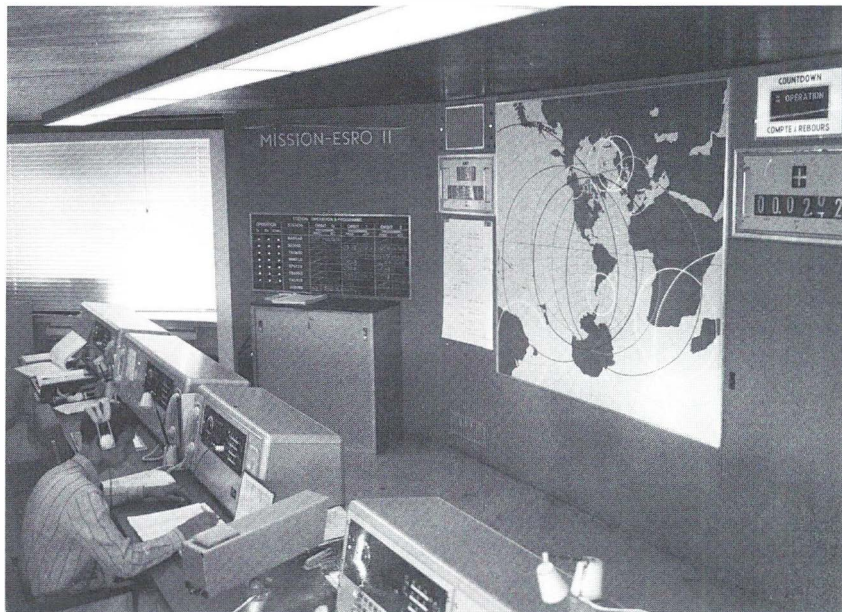
## Le succès d'une mission

En règle générale, la phase d'exploitation est la dernière et de loin la plus critique dans un projet spatial. C'est au cours de cette phase que doit se faire le retour sur investissement, qui se mesure par la quantité, la qualité et la disponibilité des produits ou services constituant l'objectif de la mission, qui dépendent à leur tour largement de l'efficacité de la gestion de la mission. Une mission est réussie si elle fournit les résultats escomptés et si l'ESOC est en mesure de remédier à toute défaillance ou anomalie au niveau du satellite placé en orbite.

Depuis 1967, l'ESOC a conduit avec succès plus de 40 missions satellites (pour plus de détails, voir l'appendice 1). Chacune a représenté un défi différent pour l'équipe responsable de l'exploitation. Nous citerons notamment:

- des missions scientifiques en orbite proche de la terre, en orbite très elliptique et en orbite interplanétaire
- des missions sous microgravité en orbite proche de la terre
- des missions d'observation de la terre en orbite proche de la terre
- des missions météorologiques en orbite géostationnaire
- des missions de télécommunication en orbite géostationnaire.

L'ESOC a été entièrement responsable du déroulement de missions prestigieuses, dont nous citerons:



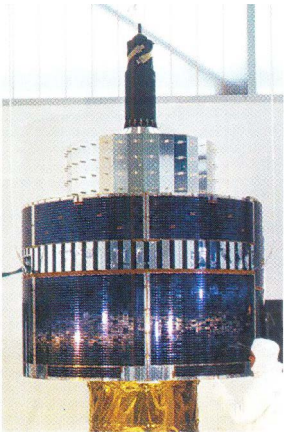
- Le pilotage du vaisseau spatial Giotto envoyé à la rencontre de la Comète de Halley en 1986, qui fut un succès spectaculaire. Après avoir survécu à cette rencontre, Giotto a été placé en 1990 sur une nouvelle orbite grâce à une manœuvre historique utilisant la gravité terrestre, pour rencontrer la Comète Grigg-Skjellerup deux ans plus tard. Les opérations de mise en hibernation et de réactivation en aveugle du satellite ont fait date dans l'histoire de la navigation spatiale.
- La mission Eureka (European Retrievable Carrier - Transporteur Récupérable Européen) menée avec succès, comportant le déploiement et la récupération du vaisseau spatial par la navette américaine Space Shuttle, a prouvé la capacité de l'ESOC à gérer depuis le sol des manœuvres de ralliement et d'accostage dans l'espace, en coopération

L'une des premières salles de contrôle consacrée à la mission ESRO-2



Salle de contrôle polyvalente

### Composition d'images MOP-1 et MOP-2 et ADC



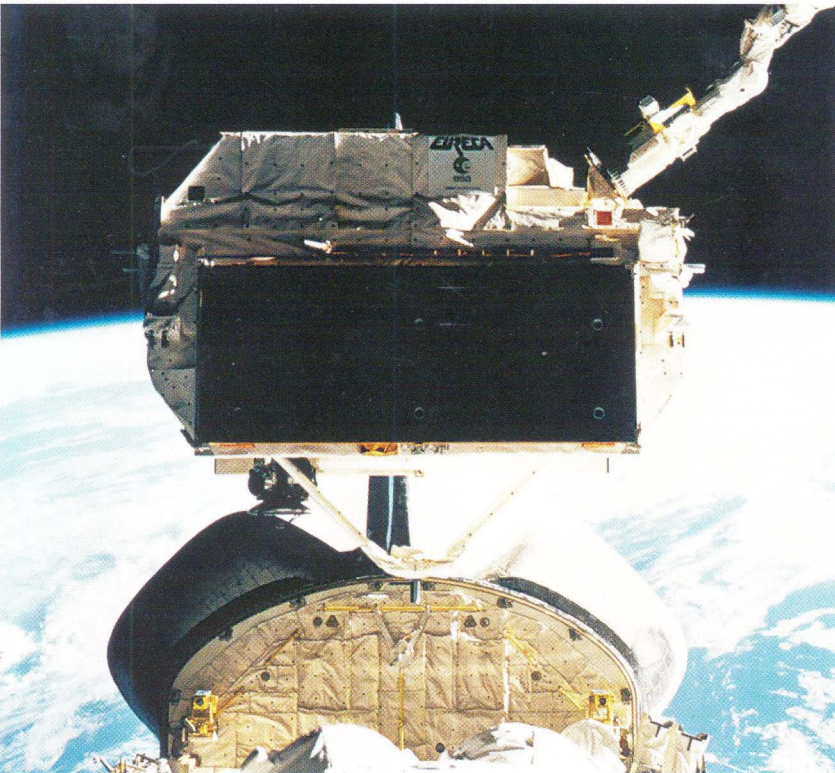
Meteosat MOP-1

étroite avec une autre agence spatiale (NASA).

- Entre 1977 et 1995, l'ESOC a dirigé les 6 missions Meteosat européennes comprenant la surveillance et le pilotage des satellites, la navigation, la gestion de la charge utile, le traitement des données recueillies, l'extraction des données images, la diffusion des données ainsi que leur archivage.

Au total, 4 missions dont la fin s'annonçait tragique ont été sauvées par l'ESOC, à savoir TD-1A, Geos-1, Olympus et surtout Hipparcos. En août 1989, Hipparcos, qui devait entreprendre l'étude de 100.000 étoiles à partir d'une orbite géostationnaire, était resté en souffrance sur l'orbite de transfert suite à une défaillance de son moteur d'apogée. En moins de trois mois,

### Eureca rejoignant la navette spatiale



les spécialistes de l'ESOC ont redéfini la mission et réalisé les modifications nécessaires au niveau du segment sol et des logiciels de bord, de sorte que le satellite a pu remplir sa mission depuis l'orbite elliptique pourtant peu favorable sur laquelle il se trouvait. Dépassant la durée de mission initialement prévue, Hipparcos a fonctionné durant trois années et rempli tous les objectifs scientifiques recherchés.

L'ESOC dispose d'une grande expertise en matière de gestion de missions satellite. Des spécialistes hautement qualifiés travaillent de manière intensive tant au cours de la phase préparatoire que de la phase opérationnelle. Les méthodes de contrôle et d'exploitation des divers types de satellites assurant les missions les plus variées pour le compte de l'ESA sont le fruit d'une expérience de plus de 30 ans. L'ESOC est reconnu comme un pôle d'excellence en matière de gestion de missions spatiales qui n'a pas son pareil en Europe. Soucieux de préserver son niveau de qualité élevé, l'ESOC est certifié ISO 9001 depuis novembre 1999.

Ces compétences, ajoutées à une infrastructure au sol complète et technologiquement avancée, ont permis à l'ESOC de conserver sa place d'autorité responsable de la gestion des missions des satellites de l'Agence Spatiale Européenne. Grâce à ces atouts, l'ESOC constitue une ressource d'une valeur inestimable pour les futurs projets spatiaux de l'ESA.

# LA PRÉPARATION DE LA MISSION




## Introduction

Dans la plupart des cas, l'ESOC commence à intervenir dès la phase de conception du satellite et de sa mission, en particulier pour l'analyse du type d'orbite exigé, la définition des impératifs à respecter lors de la conception du satellite afin que celui-ci puisse assurer au mieux sa mission et le choix de l'équipement requis au sol. L'ESOC continue à intervenir pendant toute la phase d'évaluation et au cours de l'étude du satellite en phase A.

Une fois qu'une mission a été déterminée et validée, l'ESOC est chargé de formuler les exigences techniques requises pour les phases B et C/D, de rédiger des spécifications précises pour les services et installations du segment sol ainsi que de mettre en place les interfaces nécessaires à l'échange de données et d'informations avec son client

Les diverses unités au sein de l'ESOC se lancent ensuite dans l'exécution des tâches préparatoires qui doivent être accomplies durant la période recouvrant le développement du satellite, l'intégration et le programme d'essais (environ 5 ans en général). La phase préparatoire arrive à son point culminant lorsque tous les équipements, services et personnels impliqués sont en place et pleinement disponibles et que tous les logiciels, le matériel et la documentation sont «gelés» dans l'attente du début de la mission.

Les principales activités effectuées par l'ESOC dans la phase de préparation de la mission couvrent un vaste champ de disciplines très variées, comme il ressort du schéma ci-dessous et de la suite de la présente brochure.

Phase préparatoire		Lancement & Mise en service	Phase de fonctionnement de routine
Gestion du segment sol		Lancement 	Gestion de la mission
Préparations	Opérations de vol		Fonctionnement du satellite Fonctionnement de la dynamique de vol Procédures de vol
Développement des logiciels	Maintenance des logiciels		Pilotage Dynamique de vol Plan de mission Fourniture des données Logiciels satellite Simulateur
Achat des équipements	Fonctionnement et entretien des installations		Stations sol Communications Salles de contrôle Matériel informatique
Intégration complète et essai	Validation		
Programme d'entraînement et de simulation		Entraînement et simulations	

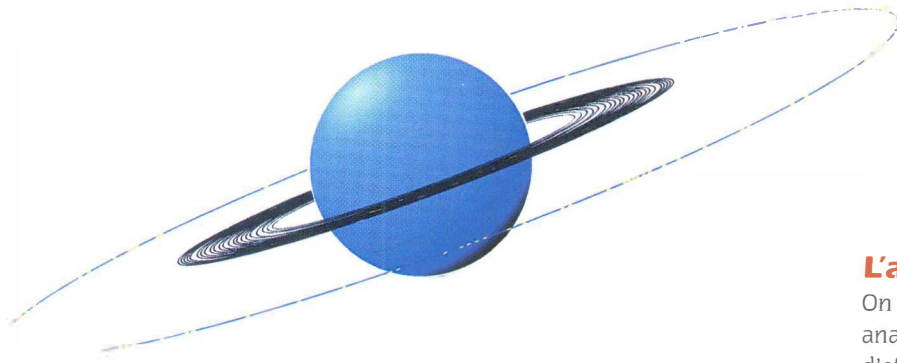


Tableau n° 1: Influence de l'orbite sur la conception du satellite

**Le type de mission conditionne :**

- L'énergie requise pour le lancement par rapport à la masse du satellite
- Le choix du lanceur et la stratégie de mise sur orbite
- Les dimensions du satellite

**L'insertion en orbite et les exigences en matière de régulation conditionnent:**

- Les techniques de régulation d'orbite (monergol/dièrgol/poudre)
- Le nombre et la nature des manœuvres requises
- Les stocks de propergol requis à bord du satellite

**L'orbite nominale conditionne:**

- La durée de vie et la stabilité du satellite en orbite
- La couverture du satellite par les stations sol disponibles
- Les types de capteurs d'orientation utilisés et leur implantation
- Le rayonnement solaire requis pour la production d'électricité et la régulation thermique
- La durée des éclipses et les besoins en alimentation électrique de secours (batteries)
- La qualité des liaisons radio entre le satellite et la station sol et les fréquences utilisées

**L'analyse de mission**

On appelle « Analyse de mission » l'ensemble des analyses mathématiques menées afin d'effectuer les choix requis pour réaliser au mieux les objectifs de la mission. Ces choix portent sur l'orbite, le lanceur, l'utilisation des stations sol, la complexité des opérations et la durée de vie du satellite.

Ces aspects très importants sont pris en compte par l'ESOC dès le début de la définition du plan de mission effectuée en collaboration étroite avec l'équipe responsable du projet. C'est essentiel dans la mesure où ces informations, qui seront données plus tard à l'entreprise chargée de la construction du satellite, seront déterminantes pour la conception de ce dernier. En effet, l'orbite retenue et le plan de fonctionnement qui en découle conditionnent de nombreux aspects de la conception du satellite, comme il ressort du tableau n° 1.

Le tableau n° 2 montre les types d'orbite les mieux adaptés en fonction du type de mission à effectuer.

Tableau n° 2: Types d'orbites correspondants aux diverses missions

Type	Orbite	Type de mission	Satellite
1	Circulaire proche de la terre	Scientifique	Spacelab
	Méridienne proche de la terre (donc héliosynchrone)	Recherche en microgravité Observation de la terre	Eureca, ISS ERS-1, ERS-2, Envisat
2	Hautement excentrique	Sciences de la terre Astronomie	HEOS, Cluster Cos-B, Exosat, ISO, XMM, INTEGRAL, FIRST/PLANCK
3	Géostationnaire	Télécommunications Météorologie Scientifique	OTS, ECS, Marecs, Olympus, Artemis Meteosat Geos, (Hipparcos)
4	Point de libration terre-soleil	Etude de soleil	Soho
5	Interplanétaire	Etude du système solaire	Giotto, Ulysses, Rosetta
6	Planétaire	Etude des planètes	Cassini/Huygens, Mars Express



Les principales caractéristiques de chaque type d'orbite sont les suivantes:

- Les orbites proches de la terre (Type 1) nécessitent peu d'énergie de lancement et se soldent par de courtes distances de communication : Elles peuvent être atteintes directement par navette spatiale et offrent des possibilités de récupération et de réparation. Cependant, les satellites sont soumis à des perturbations dues à la traînée atmosphérique et à de fréquentes éclipses. Les périodes de contact direct avec la terre sont très brèves.
- Les orbites hautement excentriques (Type 2) ont des besoins en énergie de lancement relativement faibles et d'une manière générale, le satellite est protégé de l'influence de la terre. La stabilité de l'orbite peut s'avérer problématique, ainsi que le passage fréquent du satellite à travers les ceintures de radiation de la Terre.
- Les orbites géostationnaires (Type 3) sont particulièrement appropriées pour les satellites de communications ainsi que pour certaines utilisations scientifiques et météorologiques, mais les besoins en énergie de lancement sont élevés.
- Les orbites proches du point de libration terre-soleil (Type 4) peuvent être appropriées pour l'observation solaire ou stellaire: Les besoins en énergie de lancement sont élevés et les distances de communication sont importantes.
- Les orbites interplanétaires (Type 5) ont des besoins en énergie de lancement élevés, qui peuvent cependant être réduits par le recours à la gravité. Elles sont plutôt utilisées pour des missions de longue durée. Les distances de communication sont très importantes, comme peut l'être la distance par rapport au soleil (d'où la faiblesse du rayonnement solaire utilisable pour la production d'électricité à bord).
- Les orbites planétaires (Type 6) sont similaires aux orbites de type 5: Le contact avec la station sol est interrompu par de fréquentes occultations et les missions sont de nature complexe.

L'illustration ci-contre montre les différents types d'orbites.

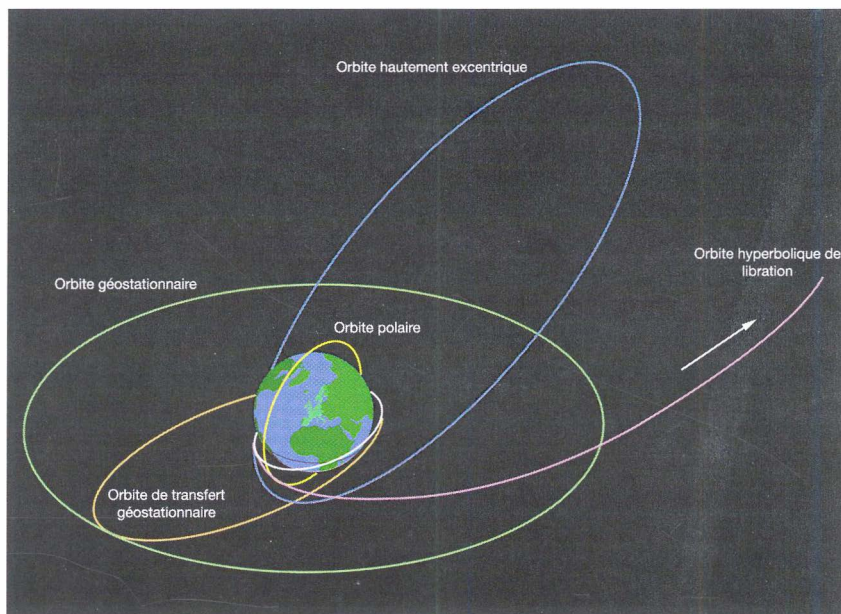
L'analyse de la mission, qui ne saurait se limiter

au choix de l'orbite la mieux adaptée, se poursuit tout au cours de la phase de préparation et porte sur tous les aspects liés à l'orbite, notamment:

- le calcul des fenêtres de lancement saisonnières et journalières,
- le calcul des contraintes de la mission, englobant le contact avec les stations sol, les périodes d'éclipse, la visibilité de la partie du ciel à observer et les occultations,
- la définition de la stratégie d'injection en orbite et l'optimisation des manœuvres orbitales,
- l'analyse des performances du système de navigation et l'estimation des quantités de propergol requises.

Ces tâches relevant de l'analyse de la mission sont accomplies à l'aide de méthodes avancées faisant appel à la mécanique céleste, aux mathématiques appliquées ainsi qu'à la connaissance des systèmes de régulation. Des ordinateurs puissants ainsi qu'une série de services et d'outils logiciels perfectionnés permettent de réaliser une analyse approfondie de tous les aspects relatifs aux orbites et aux trajectoires. Des représentations graphiques animées de régions particulières de l'espace telles que la magnétosphère ou les ceintures de radiation, ou encore des schémas en trois dimensions illustrant le positionnement relatif du satellite par rapport à la terre, au soleil et aux planètes, sont utilisés aux fins de l'analyse

Les différents types d'orbites





mais également pour les relations publiques et à des fins éducatives.

### La préparation du segment sol

Le terme «segment sol» recouvre l'ensemble des éléments, des installations et des services au sol nécessaires pour le fonctionnement des missions. Le segment sol se distingue du segment spatial qui comprend quant à lui le lanceur et le satellite.

Le segment sol devant être mis en place pour une mission comprend:

- le réseau de stations sol requis pour servir d'interface de télémétrie, de localisation et de télécommande entre le Centre de contrôle et le satellite
- les systèmes logiciels requis pour la surveillance et le pilotage du satellite, la

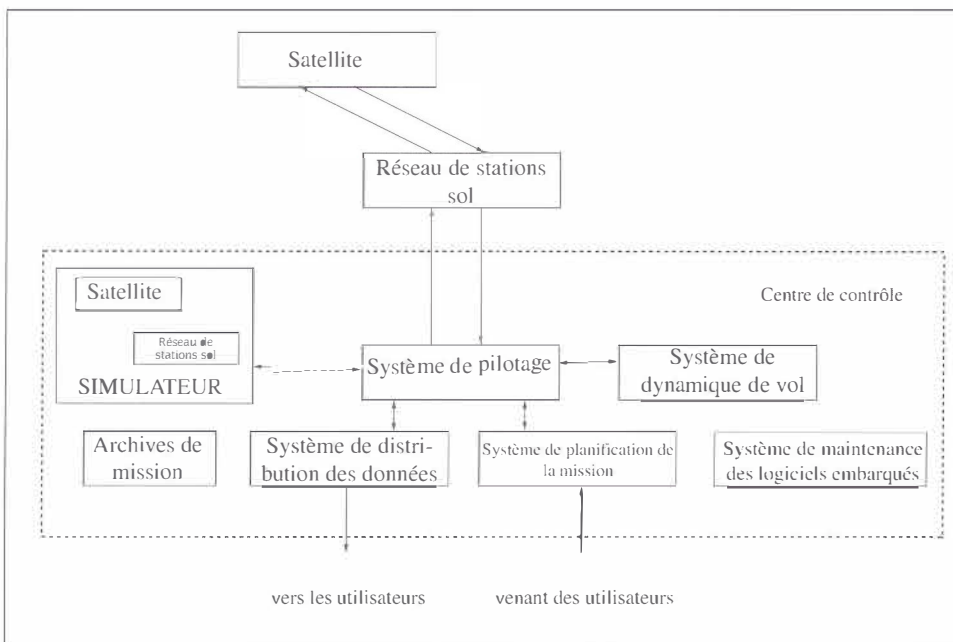
- dynamique de vol, l'organisation de la mission et la transmission des données
- les systèmes informatiques requis pour le fonctionnement des systèmes logiciels et les équipements nécessaires à la maintenance et à la validation des logiciels à bord
- le simulateur de satellite et de segment sol
- les équipements du centre de contrôle, comprenant les salles de contrôle à partir desquelles le satellite sera dirigé
- les systèmes de communication reliant l'ensemble des éléments entre eux
- l'équipe formée au pilotage du satellite
- les plans et les procédures de fonctionnement ainsi que les bases de données associées.

Le schéma ci-joint décrit les divers éléments composant généralement le segment sol.

### La préparation des opérations

Les choix concernant l'infrastructure au sol doivent se faire en fonction de la conception et du développement du satellite. Chaque mission nécessite un satellite aux caractéristiques précises qui conditionnent les éléments requis en matière de segment sol.

La première étape consiste à définir le plan de fonctionnement de la mission. Celui-ci définit le scénario d'ensemble pour le fonctionnement et le contrôle du satellite, de la charge utile ainsi que des diverses composantes du segment sol. Les spécifications précises de celui-ci seront élaborées ultérieurement en fonction de ces données. Les différentes étapes de la mission doivent être évaluées car chacune d'entre elle entraînera des exigences précises pour le segment sol.



Les informations relatives à la conception du satellite et de la charge utile qui conditionnent les spécifications du segment sol sont fournies par l'équipe de projet. Outre les spécifications, la principale source d'informations est le manuel d'utilisation du satellite fourni par le constructeur. Il contient une définition précise et complète du satellite et de ses sous-systèmes et établit ce qui doit être fait lors de chaque étape de la mission au niveau du fonctionnement. Il recèle suffisamment d'informations pour permettre à l'équipe responsable du fonctionnement de comprendre toutes les fonctions internes du satellite et sert à l'élaboration des plans et des procédures détaillées qui régiront son pilotage.

### Le réseau de stations sol

La station sol établit le lien entre le satellite en orbite et le centre de contrôle au sol. Pour assurer le suivi des missions de l'ESA, l'ESOC a créé un réseau de stations sol, baptisé ESTRACK, comprenant au total onze antennes implantées à Kourou (Guyane française), Malindi (Kenya), Maspalomas (Canaries/Espagne), Villafranca (Espagne, 3 terminaux), Redu (Belgique), Kiruna (Suède, 2 terminaux), Perth (Australie) et New Norcia (Australie, 35 m, en construction). Chaque mission comporte des exigences spécifiques en matière de stations sol et certaines missions spéciales ou menées en collaboration avec d'autres organismes exige que l'on ait recours, outre aux stations de l'ESOC, à des stations ne faisant pas partie de l'ESA. Il s'agit de stations relevant d'autres agences européennes ou du Réseau espace lointain de la NASA.

Il est essentiel de pouvoir disposer de stations implantées à divers points du monde entier



pour assurer les différentes phases de chaque type de mission. Pour toutes les missions, un contact quasi-permanent avec le satellite est nécessaire lors de la phase initiale de son séjour dans l'espace, qui est celle du lancement et de la mise en service, appelée également phase LEOP (Launch and Early Orbit Phase), de façon à ce que les opérations critiques initiales puissent être menées en toute fiabilité et, dans certains cas, que le satellite puisse être transféré de son orbite d'injection à son orbite opérationnelle.

Les stations LEOP de l'ESA de Malindi (Kenya), Perth (Australie) et Kourou (Guyane) bénéficient d'une implantation idéale pour fournir une bonne couverture des satellites, en particulier de ceux qui commencent leur vie dans l'espace sur une orbite de transfert géostationnaire.

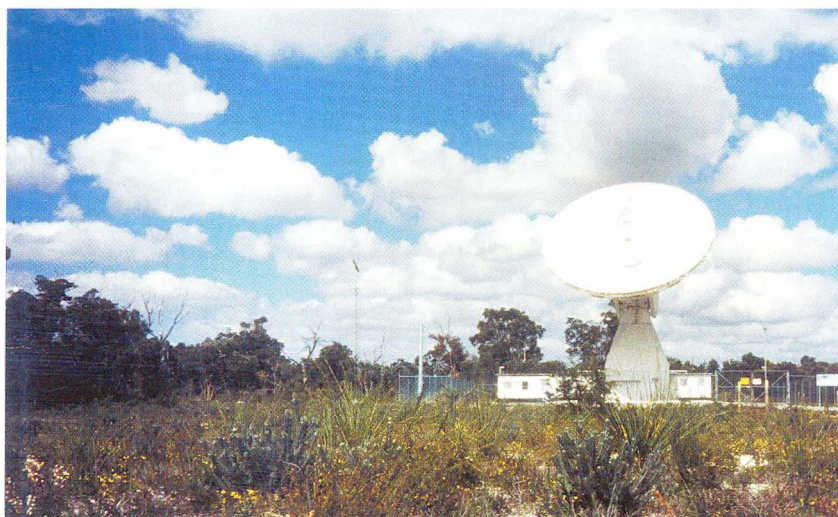
Les satellites placés sur orbite méridienne sont mieux desservis par les stations situées à proximité des pôles, qui les «voient» plus fréquemment que les stations proches de l'équateur. La station de Salmijärvi (Kiruna, Suède) est particulièrement appropriée. Afin de fournir un maximum de couverture au niveau de la phase de lancement et de mise en service pour les missions sur orbite méridienne, il faut plusieurs stations sur la trajectoire du satellite. On fait donc appel aux stations d'autres agences spatiales en sus de celles de l'ESA implantées à Perth, Kourou et Villafranca (Espagne).

Pour les autres types d'orbite, le choix des stations sol est fait en vue de maximiser les

A gauche: Station sol de Redu, Belgique

A droite: Station sol de l'ESA à Maspalomas





Station sol de Perth en Australie

périodes durant lesquelles le satellite est visible depuis la station. Un satellite placé en orbite géostationnaire, visible 24h sur 24 à partir de points situés sur un méridien précis, est celui qui pose le moins de problèmes dans la mesure où la station doit seulement être implantée à la longitude requise ou à proximité. La station de l'ESA située à Redu (Belgique) a déjà couvert un grand nombre de missions géostationnaires.

Toute station choisie pour assister une mission devra être spécialement adaptée aux caractéristiques individuelles du satellite et diverses composantes de son équipement seront conçues spécialement en fonction des

fréquences des liaisons montantes et descendantes, des types de données utilisées et d'autres caractéristiques de la mission.

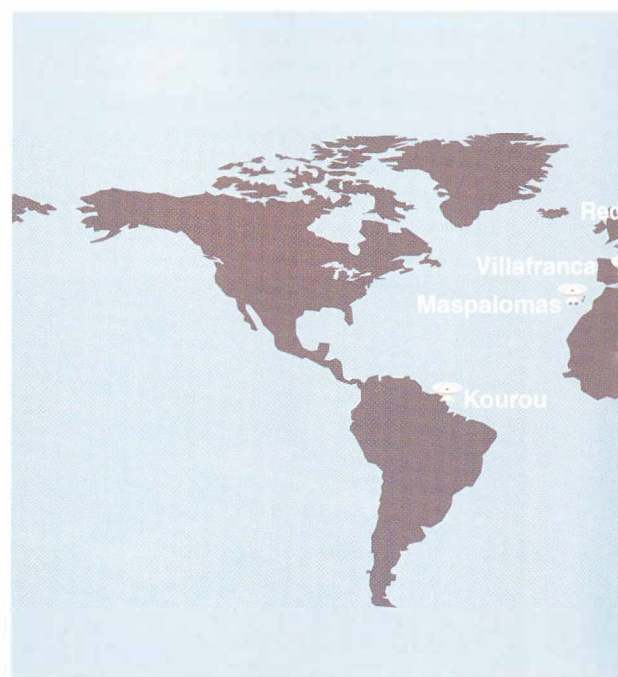
Le tableau n° 3 fait état des caractéristiques d'une station sol standard fonctionnant sur les bandes S et X. La carte donne un aperçu de l'implantation des différentes stations de l'ESA dans le monde.

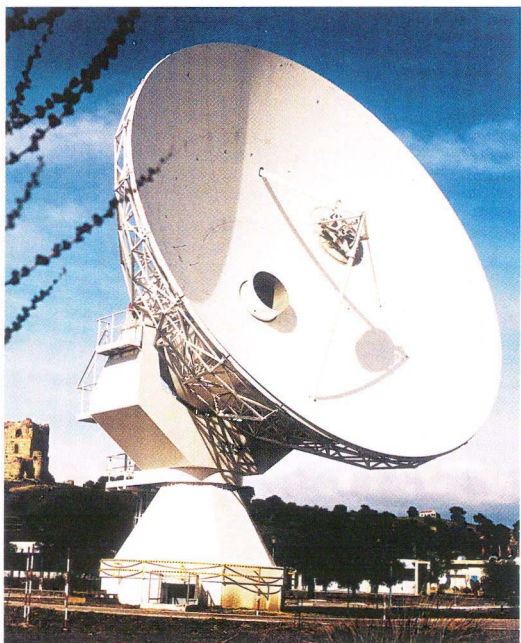
### Les systèmes de pilotage

Les équipements employés au sein du centre de contrôle pour traiter les données de télémétrie du satellite et pour préparer des instructions de télécommande nécessaires à l'exécution de la mission sont regroupés sous l'appellation assez vague de «systèmes de pilotage». Ils comprennent les logiciels et les systèmes mis en place pour répondre aux exigences de chaque mission. De nombreux éléments de ces systèmes peuvent être utilisés pour diverses missions. Lors de la sélection des moyens à mettre en œuvre pour la réalisation optimale de tout nouveau projet, la réflexion doit porter sur l'éventuelle réutilisation des systèmes de pilotage déjà existants et sur l'étendue des nouvelles fonctionnalités requises. Dans ce domaine notamment, le recours à des caractéristiques opérationnelles normalisées lors de la conception des satellites peut permettre de réaliser des économies lors du développement des systèmes de pilotage.

Tableau n° 3: Caractéristiques techniques d'une station sol standard

<b>Système de radiotransmission:</b>	
Diamètre de l'antenne	15 m
Fréquence d'émission	2025 - 2120 MHz
Fréquence de réception bande S	2200 - 2300 MHz
Fréquence de réception bande X	8400 - 8500 MHz
Puissance d'émission	74 dBW
Bande G/TS	29 dB/K
Bande G/TX	39 dB/K
<b>Télémétrie</b>	
Débit nominal de transmission des données	jusqu'à 1 Mb/s
Débit maximal de transmission des données	jusqu'à 105 Mb/s
Normes de transmission	PCM (MIC) et par paquets
<b>Télécommande:</b>	
Débit nominal en liaison ascendante	2 kb/s
Normes de transmission	PCM (MIC) et par paquets
<b>Localisation du satellite:</b>	
Précision des mesures de distances	1 m
Précision des mesures de vitesses	0.1 mm/s

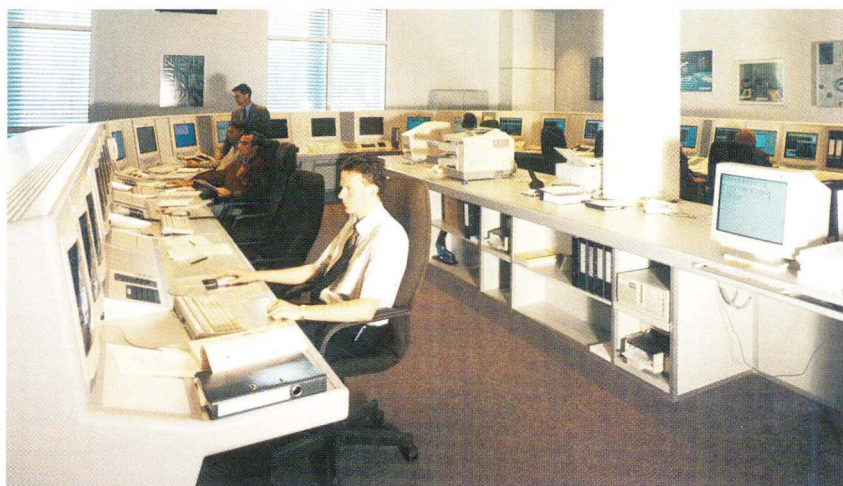




Station sol de l'ESA à Villafranca, Espagne

Le tableau n° 4 fournit quelques exemples. Ils doivent notamment être extrêmement fiables dans un environnement en temps réel, avoir une grande réactivité système, garantir la disponibilité des données et fournir des informations claires. Des dispositifs spéciaux vérifient que toutes les commandes sont correctes avant leur transmission ascendante et recherchent les erreurs de télémétrie. La nécessité de traiter des volumes de données importants et de diriger des systèmes embarqués autonomes et complexes implique des exigences techniques draconiennes pour les systèmes de pilotage.

Les systèmes utilisés pour l'interprétation des données de télémétrie et pour la production de messages de télécommande fonctionnent à partir d'une base de données. Les informations nécessaires pour établir les bases de données opérationnelles sont fournies à l'ESOC par le constructeur du satellite sous forme électronique. La plus grande rigueur s'impose pour la création, la validation et l'actualisation de ces données, qui sont d'une importance capitale pour le bon fonctionnement du satellite.

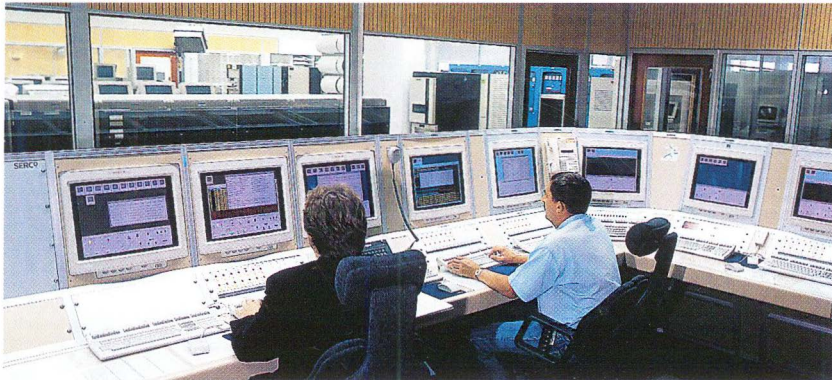


Salle de contrôle de Cluster

Les systèmes de pilotage sont conçus pour accomplir une multitude de tâches, dont le

Un grand nombre de fonctions de pilotage du satellite, notamment le contrôle d'orientation et d'orbite et la gestion des données à bord, sont assurées par des logiciels implantés sur les microprocesseurs de bord. En cas de difficultés survenant dans le fonctionnement du satellite, il est souvent nécessaire de procéder à des modifications sur les logiciels embarqués, par exemple pour corriger les effets de l'endommagement ou de la défaillance d'équipements de bord (gyroscopes ou autre matériel) pour le reste de la vie active du satellite. Le fait d'endosser la responsabilité de la gestion de la mission implique que l'ESOC pourvoit non seulement à la maintenance des logiciels embarqués, mais aussi à la validation opérationnelle des modifications. Les modifications affectant les logiciels de bord peuvent nécessiter des changements au niveau de certains éléments du segment sol. Ceux-ci doivent donc être modifiés en conséquence et validés à titre opérationnel dans le cadre d'un contrôle de configuration extrêmement





Salle des ordinateurs de l'ESOC

Tableau n° 4: Les composantes du système de pilotage et leurs fonctions

Préparation des opérations	<p>Préparation et maintenance</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– du plan des opérations de vol</li> <li>– de la base de données de fonctionnement</li> <li>– de la base de données de planification de la mission</li> </ul>
Planification de la mission	<p>Traitement des données de planification externes</p> <p>Génération et validation des calendriers de fonctionnement des satellites</p>
Contrôle du réseau	<p>Contrôle des liaisons entre le Centre de contrôle et les stations sol pour</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– les données de télémétrie</li> <li>– les signaux de télécommande</li> <li>– les informations sur la localisation du satellite</li> </ul>
Suivi du satellite	<p>Réception des données de télémétrie par la station sol</p> <p>Comparaisons de temps entre l'espace et la terre</p> <p>Conversion des données de télémétrie du satellite en valeurs techniques</p> <p>Vérification de l'état de fonctionnement et du respect des valeurs-limites de télémétrie</p> <p>Affichage des données satellite sous forme graphique ou numérique, en temps réel ou en mode accéléré (avance ou recul rapide)</p> <p>Accès en ligne à l'historique des données du satellite</p>
Pilotage du satellite	<p>Génération de messages de commande pour tous types d'instructions</p> <p>Envoi de commandes aux stations sol - en ligne ou à date et heure programmée pour transmission au satellite</p> <p>Contrôle du contenu des instructions avant leur transmission</p> <p>Contrôle de l'exécution des commandes après transmission</p> <p>Enregistrement et affichage de l'historique des commandes</p>
Dispositifs pour utilisateurs	<p>Contrôle d'accès pour les utilisateurs avec système d'autorisations privilégiées</p>
Logiciels embarqués	<p>Maintenance des logiciels implantés sur les processeurs à bord du satellite</p> <p>Validation des modifications effectuées pour les logiciels avant leur réalisation à bord</p>
Distributions des données	<p>Diffusion des données en ligne et hors ligne aux utilisateurs externes (autres centres de contrôle, centres informatiques, instituts de recherche).</p>
Analyse des performances	<p>Accès à l'historique complet des données du satellite</p> <p>Analyse et visualisation hors ligne – à intervalles réguliers – des algorithmes définis par les utilisateurs</p> <p>Création de comptes-rendus de fonctionnement</p>

rigoureux afin de prévenir toute erreur dans la suite des opérations.

## Les systèmes de dynamique de vol

La gestion de mission comporte un aspect important qui est celui de la navigation, c'est-à-dire la détermination, le calcul et la régulation de l'orbite ou de la trajectoire du satellite dans l'espace, ainsi que la détermination et la régulation de son orientation dans l'espace, encore appelée assiette de vol. Ces activités sont du ressort des spécialistes de la dynamique de vol de l'ESOC, qui utilisent des systèmes de dynamique de vol spécialement conçus à cet effet.

Pour atteindre les objectifs de sa mission, chaque satellite doit circuler sur une orbite prédéfinie et c'est au personnel du service Dynamique de vol qu'il incombe d'affiner le travail d'analyse de la mission mené préalablement et de le mettre en pratique. L'une des premières tâches opérationnelles que ce service doit effectuer pour toute mission consiste à déterminer les caractéristiques de l'orbite initiale ou d'injection après que le satellite a quitté le lanceur et de réunir les informations nécessaires afin de placer le satellite sur son orbite définitive.

La première étape consiste à traiter les données de localisation en provenance de la station sol et de calculer les paramètres orbitaux de l'orbite initiale. Pour cela, il convient de disposer d'une solide connaissance des systèmes présents à la fois dans les stations sol

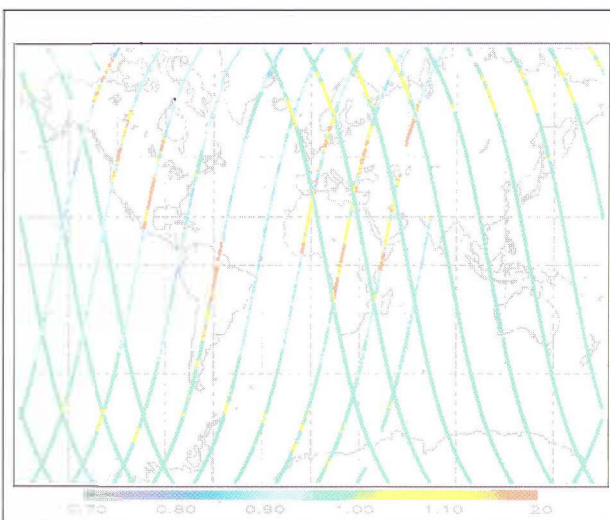
et sur les satellites. Il faut ensuite chiffrer l'écart entre l'orbite atteinte et l'orbite recherchée et modifier en conséquence la vitesse du satellite en accomplissant des manœuvres orbitales, en utilisant les pousseurs et les micropropulseurs appropriés dont le satellite a été équipé en fonction de la stratégie d'injection et des



Salle de la dynamique de vol de l'ESOC

besoins de la mission. Les missions interplanétaires peuvent nécessiter la réalisation de toute une série de manœuvres orbitales s'étalant sur plusieurs années et visant à guider le satellite dans son voyage à travers l'espace lointain pour lui faire atteindre une région déterminée, en le faisant passer éventuellement par le champ de gravité de planètes se trouvant sur son chemin afin de lui donner la propulsion requise par un procédé appelé gravidéviation. Les missions comprenant l'arrimage en orbite d'un vaisseau spatial à un autre exigent une équipe ayant des compétences à toute épreuve et des systèmes de dynamique de vol extrêmement performants.

Les satellites en orbite sont sujets à de très légères perturbations, provoquées par exemple par la radiation solaire ou par les effets gravitationnels de la Terre, de la Lune et des planètes. Ces perturbations orbitales s'additionnent au fil du temps et exigent que l'on procède régulièrement à de petites manœuvres de correction orbitale tout au long de la mission. Pour un satellite géostationnaire, ces opérations, dites de «maintien à poste», doivent être réalisées régulièrement afin que le satellite



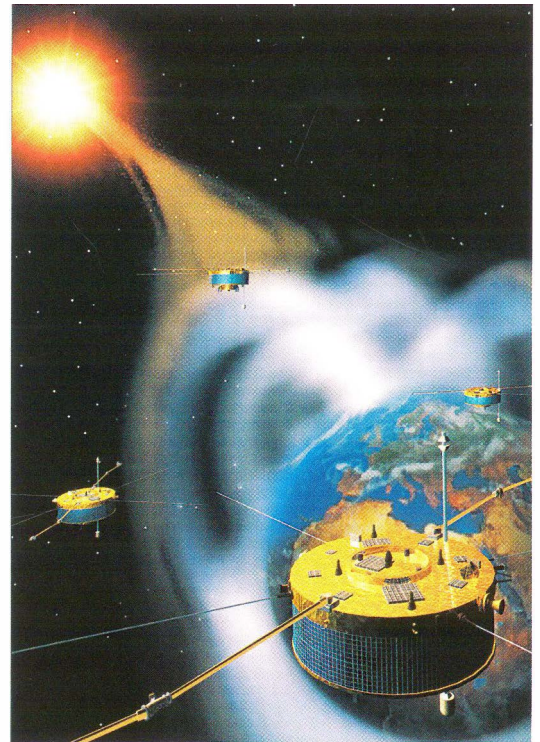
#### Image de synthèse des 4 satellites Cluster II

demeure à l'intérieur d'un intervalle de latitude et de longitude de quelques fractions de degrés seulement.

L'orbite du satellite ERS (European Remote Sensing Satellite) a été conçue pour que celui-ci survole les mêmes points de la Terre à intervalles réguliers. Alors que l'altitude théorique de l'orbite est de 800 km, la traînée ou résistance atmosphérique provoque une réduction progressive de cette altitude et empêche le satellite de survoler toujours les mêmes points du globe. Comme cette résistance dépend de la densité de l'atmosphère, la planification des manœuvres orbitales doit tenir compte des prévisions en matière d'activité solaire.

Alors que la trajectoire du satellite dans l'espace doit être surveillée, il faut également s'assurer que le corps du satellite est correctement orienté. Des instruments sensibles placés sur les satellites scientifiques doivent être pointés vers des étoiles ou des nébuleuses précises et détournés des fortes radiations du soleil ou de la terre. On doit parfois procéder à une série d'observations portant sur différents objets et le satellite doit changer d'orientation pour passer de l'un à l'autre dans des laps de temps très courts. Par contre, les antennes paraboliques qui se trouvent sur les satellites de télécommunications doivent constamment être orientées vers la Terre, et ceci durant de nombreuses années.

Les informations concernant l'orientation du satellite sont fournies par des capteurs d'orientation installés à bord. Certains sont conçus afin de déterminer la direction par rapport au soleil ou à la terre, d'autres pour reconnaître une constellation précise (suiveurs stellaires). D'autres enfin sont conçus pour mesurer la vitesse à laquelle l'orientation change. Utilisant des techniques numériques d'extrapolation avancées pour analyser ces informations, le système de dynamique de vol est capable de déterminer l'orientation du satellite avec un degré d'exactitude élevé, souvent inférieur à dix secondes d'arc, et de transmettre ces résultats aux utilisateurs des données du satellite, qui en tiendront compte dans leurs analyses.



Les changements d'orientation sont réalisés au moyen des propulseurs dont est équipé le satellite. Les informations devant être transmises à celui-ci pour l'exécution de chaque manœuvre sont préparées à l'aide du système de dynamique de vol. Elles peuvent comprendre des données relatives à l'allumage du propulseur, des données d'ajustement pour les capteurs d'orientation et des données permettant de réguler les dispositifs de sécurité à bord, tels ceux qui permettent d'éviter le soleil. Ces informations sont transmises au satellite par des signaux de télécommande générés par le système de pilotage et transmis par la station sol. L'exécution des manœuvres est suivie de près, en temps réel, afin d'assurer un fonctionnement correct des systèmes embarqués et la sécurité du satellite à tout moment.

Comme tous les systèmes complexes, les équipements du satellite utilisés pour mesurer et réguler l'orientation et l'orbite doivent être étalonnés. On doit disposer d'estimations concernant les erreurs de mesure, de dérive et d'alignement des capteurs ainsi que d'une évaluation des performances de chaque propulseur. Etant donné que ces paramètres sont susceptibles de varier dans le temps, il est nécessaire de procéder à des étalonnages



Tableau n° 5: Les composantes d'un système de dynamique de vol et leurs fonctions

Détermination et régulation de l'orientation du satellite	Traitement des données de télémétrie Estimation de l'orientation Préparation des manœuvres d'orientation Calculs de moment angulaire et de la consommation de propergol
Étalonnage	Étalonnage de la puissance et de l'orientation des propulseurs Étalonnage des gyroscopes
Détermination et régulation de l'orbite	Traitement des données de positionnement Calcul des paramètres orbitaux Calcul de la visibilité depuis la station sol, prévision des éclipses etc. Estimation des paramètres d'orientation des antennes des stations Préparation des manœuvres orbitales Calcul des réserves de propergol restantes
Assistance à la planification de mission	Fourniture d'informations concernant l'orbite pour la planification Préparation des données relatives à l'orientation et à l'orbite requises pour les plans de mission Calculs de moment angulaire et de consommation de propergol
Production de données auxiliaires	Compilation d'un historique d'orientation Compilation des données orbitales Compilation des données d'étalonnage relatives au satellite
Assurance qualité	Validation indépendante du système Contrôle de toutes les tâches et fonctions relevant de la dynamique de vol Vérification de la performance et de la qualité du système de dynamique de vol



Salle de la dynamique de vol





Salle de contrôle principale de l'ESOC

réguliers tout au long de la mission. On doit également disposer d'informations d'étalonnage pour pouvoir consigner la consommation de propergol à bord afin de prévoir la durée de vie du satellite.

L'expérience de l'ESOC en matière de dynamique de vol est inégalée en Europe et s'explique par la compétence particulière d'une équipe hautement qualifiée ainsi que par le développement de systèmes de dynamique de vol sophistiqués. De même que certains autres équipements au sol, le système de dynamique de vol nécessite une préparation soignée et doit être adapté aux besoins de chaque nouvelle mission, une tâche facilitée par la mise en place d'une infrastructure logicielle indépendante appelée ORATOS (ORbit and ATtitude Operations System). Les principales fonctions et composantes d'un système de dynamique de vol standard figurent au tableau n° 5.

### **L'infrastructure du Centre de contrôle**

En plus des systèmes informatiques mis en place pour la réalisation de la mission, il est nécessaire de disposer de toute une série d'installations, comprenant des salles de contrôle situées dans le Centre de contrôle, ainsi que d'un réseau de communication reliant divers systèmes informatiques, tant à l'intérieur du Centre de contrôle qu'entre celui-ci et l'extérieur. L'ESOC dispose des salles de contrôle suivantes:

- la Salle de Contrôle Principale (MCR – Main Control Room), utilisée pour diriger les opérations au cours des phases initiales d'une mission (phase de lancement et de mise en service)
- la Salle de la Dynamique de vol
- la Salle des intervenants extérieurs, dans laquelle sont installées les équipes de projet et les équipes venant des entreprises qui viennent fournir leur assistance sur place durant la phase de lancement et de mise en service
- des salles de contrôle affectées à des missions spécifiques pour les opérations de routine après lancement
- la Salle de contrôle de configuration au sol, où les opérateurs surveillent et configurent les liaisons et les systèmes permettant l'acheminement des données et des commandes entre les stations sol et le Centre de contrôle.

L'ESOC a également établi des centres de contrôle spécialisés au sein des centres de l'ESA suivants:

- le Centre de contrôle des satellites scientifiques, à la station sol de Villafranca, située près de Madrid
- le Centre de contrôle des satellites de télécommunications, à la station sol de Redu en Belgique.

Il est important de mettre en place des équipements permettant d'assurer des communications fiables 24 heures sur 24 entre chaque station appartenant au réseau au sol et le Centre de Contrôle pour le transfert des données de télémessure, des télécommandes, de la voix et des données. L'ESOC a installé et entretient un réseau de communications qui vient compléter le réseau reliant les stations sol et dispose d'installations permettant d'assurer d'autres types de communications, par exemple les liaisons entre les différents sites de l'ESA et leurs partenaires, qu'il s'agisse d'entreprises, d'instituts de recherche ou d'autres sites de l'Agence.

### **L'intégration et la validation du segment sol**

Pour que l'ensemble du segment sol fonctionne correctement, c'est à dire qu'il permette un accès rapide au satellite à tout moment et qu'il réponde aux exigences de la mission, une série

d'essais complète et systématique doit être réalisée à chaque étape de son intégration. Celle-ci va de l'essai de composantes à l'essai de grands systèmes, en passant par l'essai des sous-systèmes, et aboutit au test de fonctionnement final de l'ensemble du segment sol.

Cette activité s'étend sur une période de plusieurs mois vers la fin de la phase de préparation et nécessite les services d'une équipe d'experts en intégration de segment sol, qui définit d'abord un programme d'essais complet et qui l'exécute ensuite étape par étape.

Le tableau n° 6 donne un aperçu des essais les plus significatifs réalisés durant cette phase.

### Les simulateurs de satellite

L'outil le plus important pour la validation des systèmes du segment sol, des bases de données opérationnelles et des procédures de pilotage est le simulateur de satellite. Il s'agit d'un système logiciel sophistiqué de modélisation du satellite. Lorsqu'il est connecté aux systèmes de pilotage, il permet à l'équipe responsable du fonctionnement de simuler toutes les opérations concernant le satellite de manière extrêmement réaliste.

Les simulateurs sont développés par le Groupe de simulation à l'ESOC. Les responsables du développement des simulateurs se basent, entre autres informations, sur les spécifications du satellite, les documents de conception détaillés et sur les spécifications des logiciels embarqués. Les simulateurs sont construits à partir de modules réutilisables, auxquels viennent s'ajouter des modules spécifiques correspondant aux caractéristiques de la mission.

Le tableau n° 7 résume les caractéristiques principales d'un simulateur de satellite scientifique.

### Le programme de simulations

Le programme de simulations est effectué à la fin de la phase de préparation, afin d'effectuer toutes les opérations dans un environnement réaliste et que le personnel responsable soit formé pour constituer une équipe performante de pilotage, compétente à la fois pour assurer les opérations de routine et gérer les urgences.

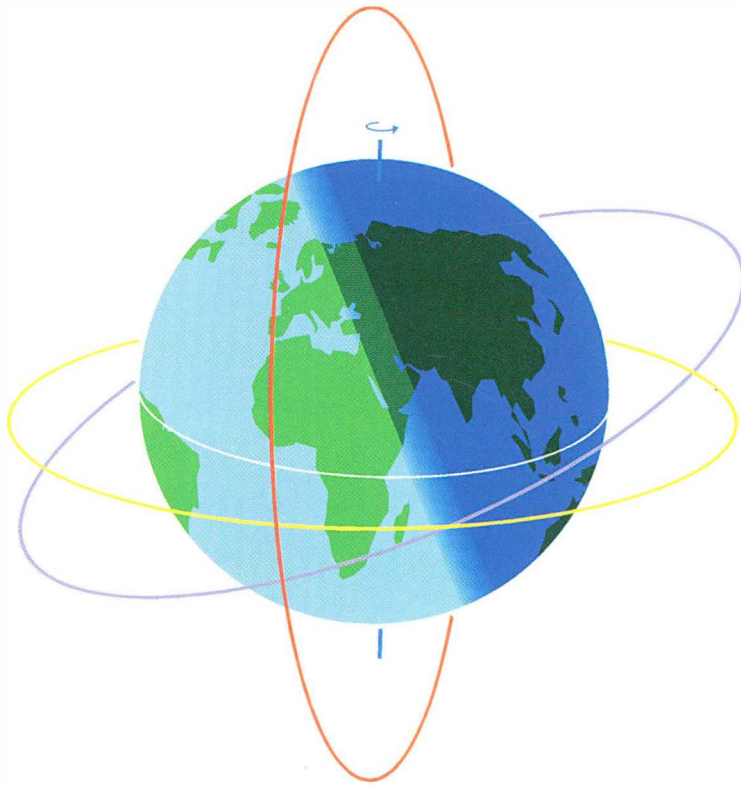


Salle de contrôle réservée à l'observation de la Terre

Le programme de simulations est conçu afin de transformer un certain nombre de personnes qualifiées en une équipe soudée, responsable des opérations de mission. On parvient à ce résultat en traitant une série de cas d'opérations de mission sélectionnés de manière réaliste, créant ainsi un environnement de formation extrêmement proche de la réalité, dans lequel l'équipe de pilotage travaille en interaction avec le simulateur de satellite comme si il s'agissait du satellite lui-même.

Tableau n° 6: Essais d'intégration et de validation

Essai	Objectif
Réception des systèmes logiciels	Validation de toutes les fonctions des systèmes logiciels livrés
Validation des bases des données	Confirmation de l'exactitude de toutes les entrées des bases de données de fonctionnement
Validation des procédures	Validation de toutes les procédures de fonctionnement
Essais de réception des stations	Validation de toutes les fonctions des stations sol
Essai de compatibilité radio	Essais des liaisons entre les systèmes radio du satellite et des stations sol
Essais de validation système	Validation de tous les systèmes de pilotage et de dynamique de vol sur la base du satellite modélisé par le biais d'essais en ligne
Essais de validation opérationnelle	Validation du fonctionnement du segment sol (de bout en bout)
Essais finals	Confirment que le segment sol est prêt pour le commencement de la mission



Les exercices de simulation portent notamment sur les points suivants:

- la collaboration avec le Centre Spatial Guyanais (Kourou) dans la phase préalable au lancement, jusqu'au décollage du lanceur et à la séparation du satellite,
- la phase allant de la séparation du satellite à l'établissement du contrôle triaxial,
- les manœuvres visant à corriger l'orientation et l'orbite du satellite ainsi que l'étalonnage s'y rapportant,
- la vérification des sous-systèmes du satellite,
- la mise en marche et le contrôle des instruments,
- les opérations de routine telles que la sortie de périégée, le début des observations, l'éclipse, l'entrée en périégée, etc.

Tableau n° 7: Principales caractéristiques d'un simulateur de satellite scientifique

Élément simulé	Modélisation
Sous-système du satellite	Représentation complète du matériel, des logiciels, mécanismes, composants pyrotechniques, moteurs, bras, volets, etc. Télémesure réaliste pour tous les modes Exécution correcte des commandes
Systèmes logiciels embarqués	Emulation du matériel Logiciels embarqués exécutables
Dynamique du satellite	Paramètres de masse du satellite Exécution des manœuvres d'orientation Champs de vision des capteurs d'orientation
Environnement du satellite	Mouvement orbital et manœuvres orbitales Eclipses et température extérieure Périodes de contact avec la station sol Catalogues d'étoiles (planètes comprises)
Interfaces réseau	Stations sol Communications
Commande du simulateur	Plus rapide qu'en temps réel Possibilité de provoquer intentionnellement des anomalies Surveillance du simulateur Dispositif de mémorisation et de reproduction des commandes et de la télémesure

On veille tout particulièrement à simuler non seulement des cas de fonctionnement normal, mais également des anomalies et incidents. Le responsable de la formation programme des anomalies sur le simulateur sans en prévenir les personnes en formation. L'objectif est d'entraîner le personnel à détecter des perturbations et à mettre en place des procédures de sauvetage. Les simulations permettent également de tester la documentation et les procédures opérationnelles de la mission et de s'assurer que le segment sol fonctionne comme prévu.

Par le passé, de telles simulations ont permis de détecter des problèmes de conception qui n'avaient pas été identifiés auparavant dans le programme d'intégration et d'essai du satellite.

A la fin du programme de simulation et après plusieurs années de préparation de la mission, l'équipe de pilotage est prête à assumer ses responsabilités dans l'exécution et la conduite des opérations de mission.

# LA CONDUITE DE LA MISSION

## L'établissement du contact avec le satellite

Le contact avec le satellite, qui est nécessaire pour l'exécution des opérations de mission au jour le jour, est établi lorsque celui-ci passe au-dessus d'une station sol appropriée. Une station sol appropriée est une station qui a été programmée pour communiquer avec le satellite en question.

A moins d'être sur une orbite géostationnaire, où il semblera rester en position fixe dans le ciel, le satellite va généralement s'élever à l'horizon et devenir visible à partir de la station. Anticipant sa trajectoire ascendante grâce à des calculs réalisés en fonction de son orbite, les responsables auront pointé l'antenne de la station dans la direction adéquate. Dès que le satellite apparaîtra, la station se calera sur son signal radio et commencera à suivre automatiquement son mouvement dans le ciel. Si le signal devait être perturbé, l'antenne continuerait à le suivre selon une trajectoire calculée à l'avance.

Après avoir établi le contact radio avec le satellite, la station sol pourra démoduler et décoder les signaux de télémétrie, puis les envoyer directement au Centre de contrôle, donnant ainsi à l'équipe responsable du satellite les données dont elle a besoin pour évaluer l'état de celui-ci. A ce moment, la station sol envoie un signal sur onde porteuse au satellite. La fréquence de cette porteuse varie autour d'une valeur donnée afin que le récepteur de bord soit en mesure de se caler sur elle et de compenser l'effet Doppler causé par le déplacement rapide du satellite. Dès que cette opération dite «de balayage» est achevée et que les données de télémétrie ont confirmé que le récepteur embarqué est calé sur la

bonne fréquence, la station sol peut envoyer au satellite les commandes reçues du Centre de contrôle.

Toutes les télécommandes envoyées par le Centre de contrôle en vue de leur retransmission vers le satellite sont vérifiées par l'appareillage de télécommande de la station et transmis par modulation de la porteuse radio. Pendant la phase de commande et de réception des données de télémétrie, la station pourra effectuer diverses mesures par procédé Distance & Doppler, puis les transmettre au Centre de contrôle pour la détermination de l'orbite.



Opération de commande des satellites



Envisat

Durant toute la période de contact (le passage), la station continue à suivre le satellite dans le ciel et fournit des services de télémétrie et de commande au Centre de contrôle. Pour des raisons de sécurité locale, on cesse d'émettre l'onde porteuse radio vers le satellite dès que l'angle d'élévation de l'antenne de la station sol, qui suit le satellite dans son mouvement descendant, tombe à 5 degrés au-dessus de l'horizon. Ensuite, le satellite disparaît et le contact de télémétrie cesse, marquant ainsi la fin du passage.

### La phase de lancement et de mise en service (Phase LEOP)

L'organisme responsable du lanceur est responsable du lancement lui-même et de la gestion du lanceur chargé de mettre le satellite en orbite. Au cours de la phase de lancement et de mise en service, dite phase LEOP (Launch and Early Orbit Phase), l'ESOC prend la responsabilité des opérations à partir du moment où le premier contact est établi depuis le sol avec le satellite séparé de son lanceur.

La phase LEOP est une phase critique au cours de laquelle des contraintes de temps très précises doivent être respectées afin que le satellite en orbite devienne pleinement opérationnel. Les opérations à effectuer recouvrent le déploiement des parties mécaniques telles que les panneaux solaires et les antennes, qui sont normalement maintenus repliés pendant le lancement. Il est aussi nécessaire de transférer le satellite de l'orbite sur laquelle le lanceur l'a positionné vers son

Salle de contrôle de la configuration au sol



orbite opérationnelle. Des contraintes de temps draconiennes doivent également être respectées pour effectuer à bord les processus qui permettront par la suite de déterminer et modifier l'orientation du satellite et de le configurer pour les opérations à venir.

Lors de la phase LEOP, les opérations sont conduites par une équipe de pilotage, sous la responsabilité d'un Directeur des opérations de vol, qui assure la direction, la coordination et le bon déroulement des opérations de mission. L'équipe de pilotage est assistée par des équipes appartenant à l'organisme responsable du développement du satellite et aux sociétés constructrices, de sorte que tout le savoir-faire nécessaire est disponible durant la phase de lancement et de mise en service.

L'équipe de pilotage est composée principalement de spécialistes du fonctionnement des satellites et de la dynamique de vol qui travaillent 24 heures sur 24 sur les postes informatiques de la Salle de contrôle principale de l'ESOC et qui apportent un soutien permanent durant la phase de lancement et de mise en service.

Les principaux responsables de l'équipe de pilotage sont le Responsable des opérations dans l'espace, le Responsable des opérations au sol et le Coordinateur de la dynamique de vol. Chacun dirige une équipe de spécialistes entièrement qualifiés pour effectuer toutes les opérations prévues et pour résoudre tous les problèmes qui pourraient survenir de manière inopinée au niveau du nouveau satellite et du segment sol correspondant.

Durant cette phase, l'équipe de pilotage est renforcée 24 heures sur 24 par divers assistants



Salle de contrôle principale

chargés de l'informatique (logiciels et matériel), des communications, de l'équipement des stations sol, des équipements du Centre de contrôle et des services généraux.

Le schéma ci-dessous illustre la composition d'une équipe de pilotage durant la phase de lancement et de mise en service.

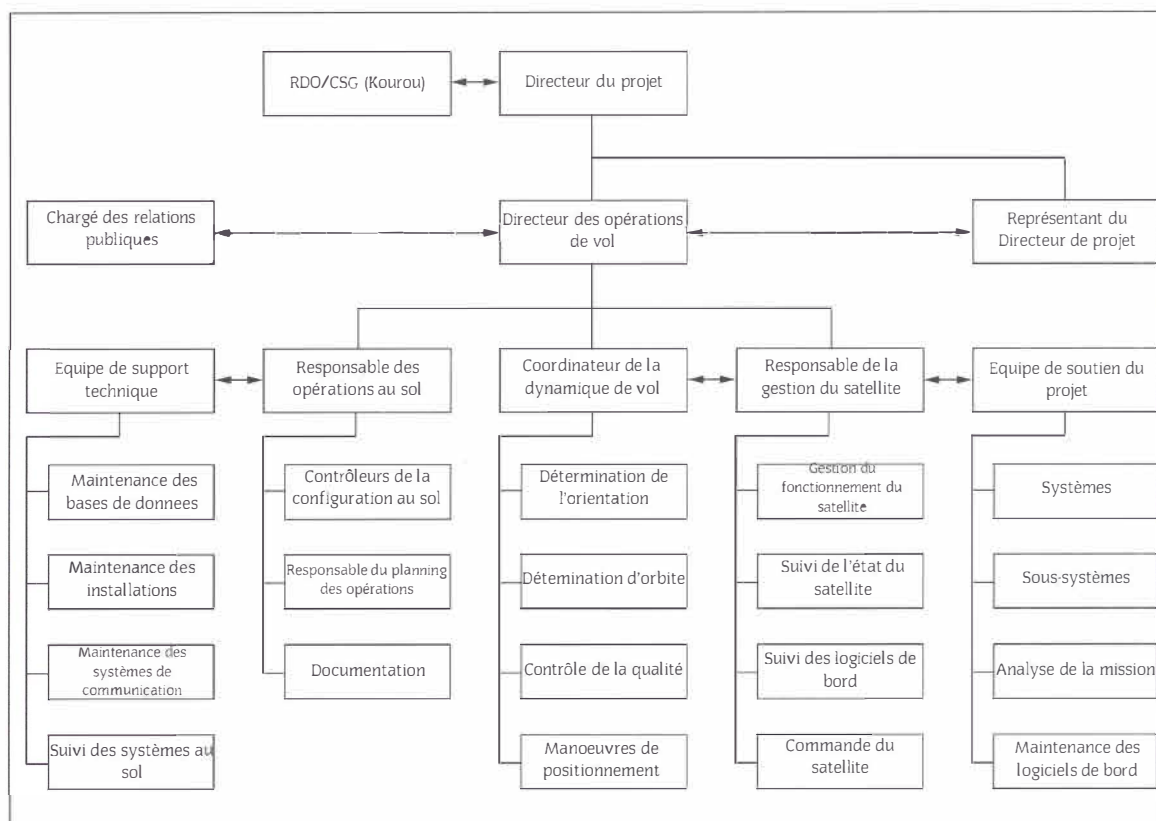
Une fois que les principales opérations de la phase de lancement et de mise en service ont été réussies (à savoir la mise en orbite, le déploiement des bras du satellite et la mise en service de la charge utile), l'équipe de gestion du satellite est réduite et part s'installer dans une salle de contrôle spécialement réservée pour le satellite (DCR – Dedicated Control Room), où elle assurera le suivi des phases ultérieures de la mission, qu'il s'agisse de l'exploitation de routine du satellite ou de son transfert vers l'espace lointain.

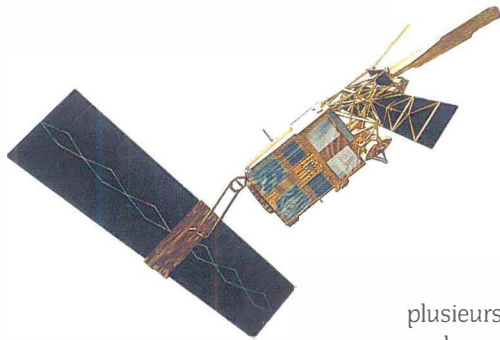
### Planification des opérations de routine

Une fois que la phase LEOP est achevée et que le satellite en orbite a

fait l'objet d'une vérification complète, c'est la phase d'exploitation de routine qui commence, au cours de laquelle on fait fonctionner le satellite de manière à ce qu'il fournisse les services ou produits prévus. Au cours de cette phase, toutes les activités doivent être planifiées et exécutées avec précision et sans improvisation.

La procédure de planification requise dépend du type de mission et de la manière dont le satellite doit être commandé. Souvent, elle exige que l'on définisse avec plusieurs semaines d'avance des plans de conduite couvrant





plusieurs jours. Ces plans ne doivent pas seulement prendre en compte les demandes d'exécution de tâches spécifiques, comme par exemple réaliser des images radar d'une région particulière de la surface de la Terre. Ils doivent aussi prendre en compte les contraintes liées au fonctionnement du satellite, comme par exemple des restrictions en matière d'énergie disponible, de capacité d'enregistrement de données de télémétrie à bord ou encore en matière d'orientation du satellite en orbite. Tout conflit se dessinant au cours de la procédure de planification doit être évité par le biais d'un changement de plan de conduite ou de calendrier.

Les données prises en compte lors de la planification d'exploitation ressortent des demandes faites par les utilisateurs, par des organismes extérieurs ou par le personnel chargé de la gestion du satellite. En plus des activités prévues pour les utilisateurs, il est nécessaire de planifier la conduite de toutes les actions sur le satellite qui sont nécessaires au contrôle de l'orbite et de l'orientation, à son entretien et à celui des systèmes de sécurité, etc. Ces actions doivent être intégrées dans le plan global de conduite du satellite pour la période en question.

Une fois que les plans de conduite sont établis, ils doivent être traduits par des messages de télécommande appropriés qui seront envoyés au satellite en temps utile.

### Les opérations de routine

Les opérations de routine consistent en un échange de données de télémétrie et de messages de télécommande entre le Centre de contrôle et le satellite, conformément au plan d'exploitation qui a été défini lors du développement du satellite et de l'infrastructure

au sol. La fréquence et l'intensité de ces échanges est conditionnée par :

- le type de mission (télécommunications, observation, espace lointain)
- le type d'orbite (géostationnaire, hautement elliptique, etc.)
- les possibilités de contact avec le sol (nombre de stations et visibilité)
- les dispositions prises à bord du satellite pour l'exécution des télécommandes et pour l'émission des données de télémétrie vers le sol,
- la complexité des opérations à réaliser.

Un satellite consacré à l'étude des ressources de la Terre (comme ERS-2) et circulant sur une orbite polaire basse n'est visible que lors de 10 tours d'orbite sur 14 (d'une durée de 100 minutes chacun) et à chaque fois pendant une période de 10 minutes seulement. Quand le satellite n'est pas en contact avec le sol, il doit être capable de réaliser des opérations complexes et de sauvegarder les données de télémétrie à bord. Le Centre de contrôle doit donc définir toutes les instructions à l'avance pour les tours d'orbite à venir, sous la forme d'un plan de conduite. Celui-ci est chargé à bord du satellite pour exécution future. A chaque fois que le satellite passe au dessus d'une station sol appropriée, le Centre de contrôle envoie de nouvelles instructions pour le plan de conduite et commande au satellite de renvoyer les données emmagasinées depuis le dernier passage. Le concept de gestion du satellite, pour une mission de ce type, exige donc :

- un degré élevé de planification de la conduite du satellite
- la production d'un plan de conduite exécutable à bord, son envoi ascendant et son exécution



Tableau n° 8: Aperçu des opérations de routine pour le satellite XMM

- le stockage et l'envoi des données de télémétrie
- un degré élevé d'autonomie des systèmes de commande et de surveillance à bord.

D'autre part, un satellite éloigné dans l'espace peut être visible du sol jusqu'à 10 heures par jour pendant certains jours et rester hors contact pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines de suite. Un autre facteur de complication est le temps que mettent les commandes pour atteindre le satellite et les données de télémétrie pour arriver au sol. Ces signaux, qui voyagent à la vitesse de la lumière, peuvent mettre jusqu'à une heure ou deux pour atteindre leur destination. Dans ce cas, le concept de gestion du satellite sera similaire à celui d'ERS: Le plan de conduite et les données seront mémorisés à bord du satellite. Un tel satellite sera donc aussi en mesure d'assurer sa propre sécurité durant plusieurs mois au cours de vols dans l'espace lointain. Pour cela, il sera doté de systèmes assurant la mise en marche automatique d'un chauffage pour maintenir la température des équipements, de systèmes assurant la détection des équipements défectueux et le basculement sur des unités redondantes ou même de systèmes permettant d'effectuer en autonomie une série de manœuvres automatiques destinées à rétablir le contact avec le sol après une défaillance des systèmes implantés au sol ou à bord. Dans ce type de mission, le rôle du Centre de Contrôle consistera à préparer toutes les instructions nécessaires pour les fonctions autonomes implantées à bord, qui requièrent souvent des travaux complexes en matière d'analyse et de modélisation. Contrairement à ces missions plutôt «exotiques», un satellite en orbite géostationnaire, en contact avec le sol 24 heures sur 24, requiert un concept de gestion beaucoup plus simple.

Quel que soit le concept de gestion du satellite, le Centre de Contrôle aura pour tâche d'accomplir toutes les opérations nécessaires à la réalisation de la mission. Le tableau n° 8 fournit un aperçu des opérations de routine devant généralement être effectuées pour une mission d'observation scientifique (ISO).

#### A la prise de contact avec le Centre de contrôle:

- Acquérir les données de télémétrie du satellite et confirmer son état de fonctionnement
- Lancer la liaison ascendante et les mesures d'angle et de distance
- Déterminer l'orientation du satellite à l'aide des données fournies par le repéreur d'étoiles
- Assurer la régulation thermique du satellite et surveiller le système cryogénique
- Vérifier l'alimentation électrique à bord et charger les batteries si nécessaire
- Préparer les instruments pour le début des observations (chargement des programmes)
- Etalonner les capteurs d'orientation
- Charger les instructions pour la commande et le contrôle de sécurité du satellite et des instruments

#### Observations scientifiques:

- Commencer la séquence des manœuvres d'orientation pour les observations (changements d'orientation à un intervalle de quelques minutes)
- Modifier le paramétrage des instruments à chaque orientation
- Contrôler l'orientation du satellite et le moment angulaire
- Etalonner les instruments
- Passer d'une antenne de bord à l'autre pour garder le contact (si nécessaire)
- Transférer les données scientifiques au centre scientifique

#### Avant la fin du passage:

- Mettre les instruments en mode sécurité (afin d'éviter tout risque de saturation dans le passage des ceintures de radiation terrestres)
- Manœuvrer le satellite en orientation de sécurité lors du passage du périhélie (pour détourner le télescope de la Terre)
- Mettre en marche le système d'alimentation électrique en prévision des éclipses (alimentation par batteries)

## Services et produits résultant de la mission

Les services et produits devant être fournis au cours d'une mission spatiale dépendent du type de la mission en question. Pour une mission de

Salle de contrôle ERS





Image composée du noyau de la Comète de Halley réalisée grâce à la caméra couleur de Giotto (© 1986 Max-Planck Institut für Aeronomie)

Tableau n° 9: Exemples de produits de mission satellite

Produit de la mission	Utilisateur ou Centre de traitement
Images Meteosat	ESOC (avant 1996) EUMETSAT (après 1996)
ERS Images Radar SAR	Produits fournis au fur et à mesure : Station sol de Kiruna
ERS – Données de surveillance de la couche d’ozone (GOME)	ESTEC et les instituts des expérimentateurs principaux
Giotto – recueil de données scientifiques	Principaux expérimentateurs à l’ESOC et instituts des principaux expérimentateurs en Europe et aux USA
Giotto – Images couleur de la comète de Halley	Institut Max Planck, Allemagne
ISO · Recueil de données scientifiques	Centre scientifique ISO, Villafranca, Espagne
Cluster – Recueil de données scientifiques	Evaluation rapide des données: Centre scientifique conjoint, Royaume-Uni Traitement final: Instituts des principaux expérimentateurs en Europe et aux USA
Hipparcos – Données astrométriques	Consortiums du catalogue des étoiles HIPPARCOS (FAST en France, NDAC en ande- Bretagne, TYCHO au Danemark)

télécommunication, le but est de fournir aux utilisateurs un service de télécommunication continu d’un point à l’autre.

Toutes les missions à vocation scientifique ou de recherche appliquée ont pour objectif d’effectuer des observations scientifiques ou d’autres mesures dans l’espace, puis d’en analyser les résultats. Le traitement final des données de télémessure peut relever de la responsabilité de l’ESOC ou d’un centre informatique externe. Cette activité peut également être confiée à un petit groupe de spécialistes ou de chercheurs du domaine concerné. Quel que soit l’objectif final, l’ESOC doit fournir aux utilisateurs un maximum de données de bonne qualité qui constituent le produit de la mission.

Par le passé, ces données étaient fournies sur bandes magnétiques envoyées par courrier. De nos jours, les utilisateurs peuvent recevoir leurs données sur CD-ROM ou à travers des réseaux de communication locaux ou internationaux. Ils peuvent même télécharger via Internet les produits souhaités ainsi que les utilitaires requis pour leur analyse.

### La gestion de la qualité

Afin de fournir à sa clientèle des prestations qui ne laissent rien à désirer, l’ESOC a mis en place un système d’assurance qualité performant. Le système d’assurance qualité de l’ESOC recouvre toutes les activités du centre, qu’il s’agisse de premières négociations avec des clients potentiels pour la fourniture de services de gestion, de la réalisation intégrale de la phase de préparation de la mission, des travaux de la phase d’exécution de la mission ou encore de la fin de cette dernière.

Les procédures définies dans le système d’assurance qualité portent sur les contrats, le développement du segment sol, le repérage des anomalies, les actions correctives et le reporting. Depuis 1999, l’ESOC est certifié ISO 9001 et par conséquent tenu de procéder à des audits de vérification réguliers et à améliorer la qualité en permanence.

Le tableau n° 9 donne quelques exemples de produits de mission et d’utilisateurs responsables du traitement des données recueillies.

# LA GESTION DES INCIDENTS



## Assurer le retour à la normale après des événements imprévus

Le Centre de contrôle a pour tâche de maximiser le profit de la mission et d'assurer que toutes les opérations se déroulent avec une sécurité et une fiabilité optimales. Cependant, tout ne peut évoluer de manière parfaitement normale, surtout dans un environnement spatial particulièrement difficile où des événements imprévus surviennent quelquefois. Un effort considérable est investi dans les phases de préparation pour minimiser toutes les sources possibles de défaillance, tant au niveau du segment spatial que du segment sol, et pour préparer toutes les procédures et plans d'urgence destinés à remédier aux problèmes qui pourraient se produire durant la mission.

Grâce aux fonctions automatisées du système de dynamique de vol, le personnel chargé de la conduite du satellite repère les événements imprévus dans les données de télémesure du satellite dès qu'elles arrivent au centre de contrôle. L'état ou la valeur de tous les paramètres de télémesure importants sont vérifiés par rapport à une série de limites prédéfinies et une alarme sonore est déclenchée si une valeur hors limite est trouvée. Cette valeur hors limite peut simplement indiquer une hausse de température de peu d'importance, mais elle peut aussi indiquer une défaillance sérieuse à bord, comme une erreur dans l'exécution d'une commande ou un dysfonctionnement au niveau d'un microprocesseur.

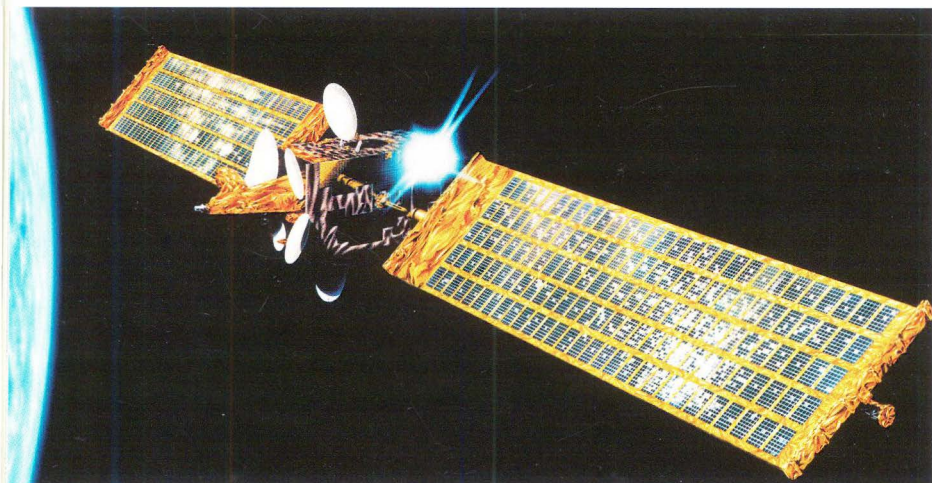
Pour toute alarme émise, le personnel chargé de la conduite du satellite identifiera l'anomalie et prendra les mesures qui s'imposent, en utilisant des procédures définies à l'avance. Une

formation régulière sur le simulateur de satellite l'aura mis en mesure de détecter les anomalies et d'y remédier.

Si un problème complexe survient de manière imprévue et exige la création d'une nouvelle procédure de dépannage, celle-ci sera développée et testée sur le simulateur avant d'être pratiquée sur le satellite dans l'espace.

Les défaillances des équipements à bord peuvent rendre nécessaire de modifier le mode de fonctionnement du satellite, notamment si un gyroscope ne fournit plus de données sur les changements d'orientation. On peut parfois pallier cette défaillance en redéfinissant certains algorithmes de commande à bord et en développant de nouveaux logiciels qui assureront la fonction voulue. Toutes les modifications prévues pour les logiciels embarqués seront entièrement validées sur le simulateur avant leur chargement sur l'ordinateur du satellite.

Les anomalies ne sont pas l'apanage des seuls satellites. Au niveau du segment sol, des erreurs et des défaillances peuvent aussi survenir. Le personnel chargé de la conduite du satellite doit être également bien formé pour remédier aux défaillances de l'équipement au sol, qu'il s'agisse d'une panne du moteur de l'antenne de la station sol ou d'une perturbation de la transmission des données vers la station sol, ou encore de perturbations dues aux intempéries (orage, vent, inondations). Dans de telles circonstances, on veille tout d'abord à faire en sorte que le satellite ne soit pas en péril, puis on s'efforce de lui faire reprendre son fonctionnement normal dès que possible à l'aide d'équipements de secours.



Olympus

Dans de rares cas, l'incident peut s'avérer de nature à compromettre gravement la poursuite de la mission telle que prévue initialement. Il faut alors entreprendre des efforts très importants pour y remédier, en trouvant de nouvelles solutions pour éviter la perte du satellite et sauver la mission. Il est impératif d'agir vite, car la situation du satellite peut continuer à se dégrader pendant que l'on élabore un plan de secours. Dans le passé, l'ESOC a été confronté à plusieurs situations difficiles de ce genre et a su relever le défi.

### Le sauvetage d'un satellite

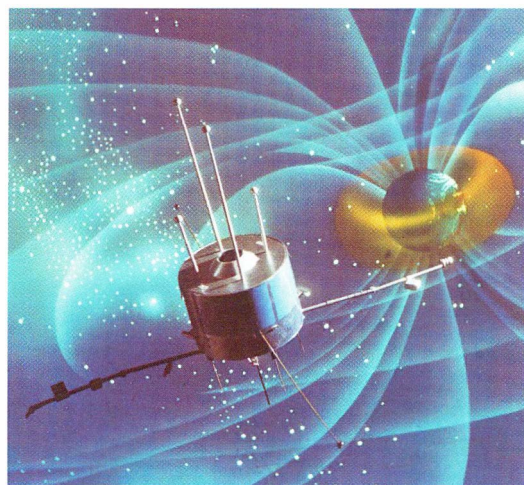
Olympus était un satellite de télécommunication lancé en juillet 1989. L'ESOC était responsable de la conduite du lancement et de la mise en service, mais il avait transféré la responsabilité de la phase des opérations de routine au Centre de contrôle de l'Agence spatiale italienne à Fucino. Au fil du temps, des altérations prématurées du satellite rendirent sa gestion de plus en plus ardue. En mai 1991, seul un panneau solaire était encore en mesure de fournir de l'électricité et les erreurs des capteurs à référence terrestre installés à bord rendaient le contrôle d'orientation difficile. Après avoir détecté une nouvelle anomalie à bord, le satellite se mit lui-même en mode sécurité. A ce stade, assurer le retour à un fonctionnement normal n'était plus une tâche aisée. Au cours des opérations complexes entreprises à cette fin, le satellite se mit à culbuter de manière inattendue. Le système de bord essaya de contrôler les mouvements, mais à la suite du déclenchement automatique des micropropulseurs, le satellite quitta sa position orbitale normale et perdit le contact avec le sol. En une semaine, le perpergol des micropropulseurs et le liquide des batteries furent gelés. Il n'y avait pratiquement plus de télémessure ni de possibilité de

télécommande. L'alimentation électrique était très faible soumise à de fortes variations. Le satellite était en rotation lente et dérivait dans l'univers à une vitesse de 5 degrés par jour.

L'ESOC fut alors chargé d'établir un plan de sauvetage. Une équipe composée d'une cinquantaine de spécialistes fut rassemblée pour concevoir et mettre en œuvre un plan qui devait s'avérer très complexe. On fit appel aux services de stations sol supplémentaires, dont celles du CNES et de la NASA, et les moyens techniques de l'ESOC furent renforcés pour assurer le contrôle de la mission. Après des semaines de travail intense et d'opérations extrêmement critiques ayant nécessité l'envoi de plusieurs milliers de télécommandes, on parvint à reprendre le contrôle du satellite à la fin de juillet. Il fut ramené sur son orbite normale deux semaines plus tard et reprit rapidement son travail. L'ESOC avait prouvé sa capacité à ramener un satellite endommagé à la vie.

### La redéfinition d'une mission

GEOS était un satellite scientifique lancé en avril 1977. Il devait être mis sur une orbite géostationnaire de transfert par un lanceur Thor Delta puis placé sur une orbite géostationnaire par l'action de son propulseur d'appoint. Suite à une défaillance partielle du lanceur, le satellite fut placé sur une orbite d'une période de 3,8 heures et non pas de 10,5 heures comme prévu. La vitesse de rotation était excessivement basse, à savoir de 1,5 au lieu de 90 tours par minute. Le satellite oscillait dangereusement, avec un angle de précession de 35 degrés.



Le premier contact avec le satellite montra que la vitesse de rotation était trop basse et une manœuvre d'accélération fut rapidement exécutée. Après une première estimation, il devint clair que l'orientation du satellite ainsi que son orbite étaient tout autres que prévu. Une manœuvre de correction d'orientation était nécessaire pour maintenir les températures du satellite dans des limites raisonnables mais surtout, l'orbite était si basse que les capteurs solaires risquaient d'être rapidement détériorés par les ceintures de radiations de la Terre. Il fallait donc absolument transférer le satellite sur une nouvelle orbite aussi vite que possible. L'injection sur l'orbite géostationnaire initialement prévue n'était plus possible. On entreprit donc des travaux d'analyse intensifs afin de rechercher la meilleure orbite possible susceptible d'être atteinte à l'aide des micro-propulseurs. La tâche était ardue. En effet, l'orbite ne devait pas seulement satisfaire aux besoins scientifiques de la charge utile mais aussi respecter un certain nombre de contraintes strictes, dont la visibilité depuis la station sol, l'angle de visée de l'antenne du satellite, la stabilité de l'orbite et les durées d'éclipse.

Après 5 jours, une solution acceptable avait été trouvée et le satellite fut placé sur une orbite elliptique inclinée ayant une période de 12 heures. Depuis cette orbite, GEOS a pu fournir des données scientifiques très utiles. En raison de cet échec de mise en orbite, l'ESA décida de lancer un satellite identique GEOS-2, qui fut placé sur orbite géostationnaire quinze mois plus tard. La rapidité avec laquelle l'ESOC avait été en mesure de trouver une solution pour GEOS avait été déterminante pour le sauvetage de la mission.

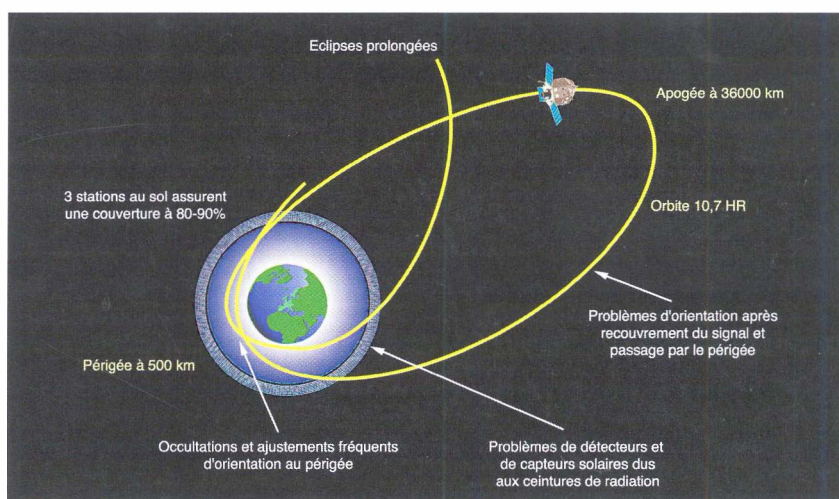
HIPPARCOS était un satellite scientifique destiné à fournir des mesures extrêmement précises de la position des étoiles, de leur distance et de leurs mouvements dans l'espace. Il devait rejoindre une orbite géostationnaire où il aurait été en contact permanent avec la station sol allemande de l'ESA implantée dans l'Odenwald. Lancé en août 1989, le satellite fonctionnait sans problème sur son orbite de transfert. Mais au moment où le moteur d'apogée reçut une commande de mise à feu, les deux chaînes pyrotechniques firent défaut et le satellite ne put quitter son orbite de transfert.

On utilisa la petite quantité d'hydrazine disponible à bord pour relever le périhélie de l'orbite afin de réduire la traînée aérodynamique et les effets nocifs de l'oxygène atomique sur le satellite. Sur cette orbite elliptique d'une période de 10h40, le contact avec la station sol n'était maintenu que pendant 32% du temps.

On dut faire appel à des stations sol supplémentaires et installer des équipements additionnels à Perth et à Kourou. Plus tard, la NASA devait apporter son assistance par le biais de sa station de Goldstone, située dans le désert de Mojave.



Hipparcos



Orbites d'Hipparcos

Il fut impossible d'établir un contact radio continu avec le satellite, qui était sujet de longues éclipses. La charge utile était fréquemment occultée. Il était difficile d'obtenir des données sur l'orientation du satellite et extrêmement ardu de la commander dans la région du périhélie, celle-ci se trouvant au niveau des ceintures de radiation de Van Allen. Une part importante des procédures de conduite d'Hipparcos durent être réécrites. Au départ, les opérations étaient extrêmement risquées car il fallait agir extrêmement vite, ce qui ne permettait pas d'envisager toutes les éventualités ni de se préparer pour toutes les urgences pouvant survenir.

La réalisation de la mission ainsi redéfinie a permis à la collecte de données scientifiques de commencer moins de 4 mois après le lancement. Tout d'abord, le taux de récupération des données s'élevait à 50% environ, mais il est passé à 65% après

## Chercheurs observant la rencontre de Giotto et de la Comète Grigg-Skjellerup

l'optimisation des procédures. En dépit de la défaillance de quatre gyroscopes sur les cinq qui se trouvaient à bord et de nombreuses autres anomalies (largement imputables aux niveaux de radiation élevés), la mission Hipparcos a duré 4 ans, soit 18 mois de plus qu'initialement prévu.

Bien qu'il ait été prisonnier d'une orbite qui n'était pas la bonne et qu'il ait subi des niveaux de radiation nuisibles, le satellite Hipparcos a atteint tous ses buts scientifiques. Une procédure ingénieuse de commande d'orientation sans gyroscope avait été mise au point, mais la mission a pris fin brusquement à la suite de la défaillance de l'ordinateur de bord avant que l'on ait pu l'expérimenter.

Dans le cas de Giotto, l'ESOC était confronté à un défi consistant à définir une seconde mission de rencontre avec une comète pour un satellite déjà en orbite. Lancé en juillet 1985, le satellite scientifique Giotto avait été conçu pour un voyage interplanétaire de 9 mois, couronné par une brève rencontre avec la comète de Halley.

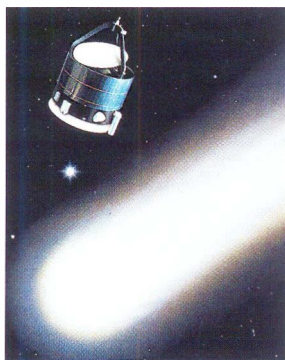
Cette mission fut un succès et contrairement à toutes les attentes, le satellite survécut aux impacts violents des poussières qui se déplaçaient à une vitesse très élevée dans le sillage de la comète, même s'il avait subi de sérieux dommages. De plus, il disposait d'encore 90% de ses réserves de propergol grâce à une navigation très économe et à la grande précision des manœuvres d'injection de la fusée Ariane et du propulseur de bord.



En dépit de dégâts de structure, de changements radicaux dans son comportement thermique, de l'instabilité de l'alimentation électrique, de l'endommagement d'un repère d'étoiles et de la perte de plusieurs fonctions autonomes, le satellite était encore en état de fonctionner. Aucun plan de mission détaillé n'avait été prévu pour la période suivant la rencontre avec la comète et on manquait de ressources pour assurer le suivi continu du satellite. Afin de ménager le plus d'options possible, on plaça Giotto sur une trajectoire de retour vers la Terre (ce qui coûta plus de la moitié du combustible restant), puis on le configura pour réduire au maximum sa consommation d'énergie. Son orientation fut adaptée pour optimiser les températures et l'émetteur fut mis à l'arrêt. Le satellite était en sommeil.

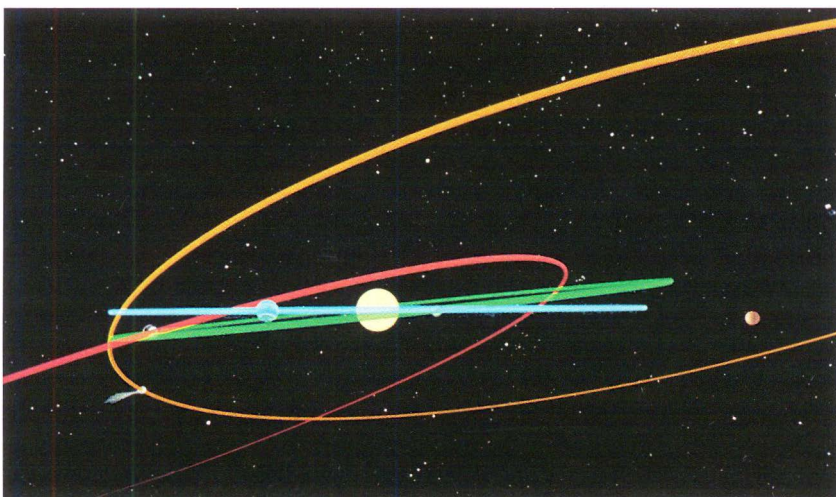
Après 4 ans d'hibernation, Giotto fut réactivé. Le rétablissement des communications, une opération jamais tentée auparavant, dut être fait en aveugle, sans télémétrie et alors que Giotto se trouvait à 100 millions de km de la terre. La technique employée, dont la conception avait requis plusieurs années-hommes, exigea six jours d'opérations complexes au bout desquels on parvint effectivement à réactiver le satellite.

Un contrôle de l'état du satellite révéla qu'environ la moitié des équipements scientifiques constituant la charge utile était encore en état de fonctionnement, mais que les équipements de secours disponibles avaient encore été réduits du fait de la défaillance de deux composantes essentielles du satellite. La comète Grigg-Skjellerup fut désignée comme le prochain objectif de Giotto. Elle représentait le meilleur compromis entre ce qui était souhaitable du point de vue scientifique et



Le satellite Giotto

Orbite de Giotto pour sa seconde mission



réalisable du point de vue technique. Même ainsi, le satellite endommagé devait fonctionner d'une manière qui n'avait pas été prévue lors de sa conception.

L'ESOC entreprit de faire effectuer à Giotto un changement d'orbite par gravidéviation terrestre, le premier jamais effectué sur un satellite revenant de l'espace lointain. Il fut remis en hibernation une seconde fois, résista à des températures extrêmement élevées et fut réactivé deux années plus tard, en mai 1992. Lors de la seconde rencontre, en juillet 1992, alors que Giotto s'était approché à 200 km du noyau de la comète, son éloignement par rapport au soleil réduisit l'alimentation électrique à bord à un tel point tel qu'il est peu probable qu'on ait pu effectuer même une seule expérience supplémentaire. Par rapport au budget de la mission initiale de Giotto, cette seconde mission n'avait occasionné qu'un faible pourcentage de coûts en sus.

### L'arrêt d'une mission

Un satellite est conçu pour remplir les objectifs d'une mission pendant une période définie, allant généralement de deux à dix ans, voire plus. Les aspects qui doivent être pris en compte lors de la définition de la durée de vie du satellite sont les suivants:

- Il faut pouvoir maintenir le satellite sur l'orbite voulue (géostationnaire, polaire, etc.) pendant toute la durée de la mission et le doter d'une quantité suffisante de combustible pour toutes les manœuvres orbitales prévues.
- Il faut pouvoir commander l'orientation du satellite durant toute la mission et prévoir une quantité de combustible suffisante pour toutes les manœuvres d'orientation et de contrôle cinétique.
- Il faut veiller à ce qu'une alimentation suffisante en électricité soit assurée durant toute la mission en tenant compte de la dégradation des capteurs solaires, qui varie en fonction du temps et de l'orbite.
- Il faut prévoir des équipements suffisamment résistants aux détériorations dans l'espace et suffisamment d'équipements de secours pour atteindre le degré de fiabilité souhaité pour la mission.

La mission se poursuit tant que le satellite et sa

charge utile remplissent les objectifs prévus. Si les ressources nécessaires à bord (propergol et électricité) viennent à manquer, ou si des équipements sont défectueux, compliquant de plus en plus les opérations, on doit alors envisager de mettre fin à la mission.

Dans certains cas, la fin de la mission peut être dramatique (suite à la perte soudaine du satellite). Dans d'autres cas, elle peut être extrêmement longue et fastidieuse (les derniers mois de la mission réussie d'Hipparcos), ou encore très simple (fin de la deuxième mission de Giotto).

Si la fin d'une mission peut être prévue, il est souvent préférable de procéder à une série d'essais de fin de vie, par exemple sur les mécanismes du satellite. Il est utile de le placer, si cela s'avère possible, sur une orbite qualifiée de «cimetière» où il risquera moins d'entrer en collision avec d'autres satellites en orbite ou de nuire à l'environnement spatial. Pour le Centre de contrôle, une mission est réputée terminée quand le contact avec le satellite est définitivement interrompu, quel que soit le sort du satellite – qu'il soit attiré lentement vers la terre pour se consumer en entrant dans l'atmosphère ou qu'il est resté en orbite, sans surveillance, pendant des milliers d'années.

### Les déchets spatiaux

Le terme «déchets spatiaux» recouvre la quantité sans cesse croissante de résidus de matériel qui se trouvent en orbite autour de la Terre. Il s'agit d'étages supérieurs de lanceurs, de vaisseaux spatiaux inactifs ou en fin de vie, de propulseurs éjectés, de fragments de satellites ou d'étages de fusées et d'un nombre incalculable de pièces métalliques telles que panneaux, bras, capots etc. Leur taille varie de celle d'une voiture ou plus à celle d'une poussière microscopique. Les déchets spatiaux sont en train de devenir un grave danger pour



Déchets spatiaux observables selon les données NASA/USSpaceCom. Les objets ont été fortement agrandis pour raisons de visibilité

les missions spatiales actuelles et futures, en raison du risque croissant de collision avec les satellites en activité, spécialement sur des orbites fortement peuplées comme les orbites géostationnaires ou les orbites terrestres de basse altitude (moins de 2000 km). Ils sont une cause de préoccupation pour toutes les agences spatiales.

Celles-ci, dont l'ESA, s'efforcent actuellement de prendre des mesures destinées à réduire l'ampleur du problème. Lors de la conception des lanceurs et des satellites, les responsables sont de plus en plus conscients du problème et font en sorte de réduire au maximum la production de déchets résultant de l'activité de leur lanceur ou de leur satellite dans l'espace. L'ESA a adopté une politique qui consiste à déplacer chaque satellite géostationnaire parvenu en fin de mission sur une orbite située à 300 km au moins au dessus des orbites géostationnaires.

Un autre risque préoccupant est celui des retombées sur la Terre. La plupart des objets se consomment en traversant l'atmosphère. Cependant, on sait que des fragments d'objets massifs ont déjà heurté la surface de la Terre et constituent un risque réel dans les régions peuplées.

Les vaisseaux spatiaux suivants ont traversé l'atmosphère sans se désintégrer complètement et touché la surface de la Terre :

- KOSMOS 954, en janvier 1978: Ce vaisseau spatial russe contenait un réacteur nucléaire.
- SKYLAB, en juillet 1979: Il s'agissait du laboratoire spatial américain de 75 tonnes.
- KOSMOS 1402. Une partie a touché la terre en janvier 1983 et l'autre en février 1983. Il s'agissait d'un vaisseau spatial russe contenant un réacteur nucléaire.
- Salyut-7/ Kosmos 1686, en février 1991: Il s'agissait d'une station spatiale russe de 40 tonnes.

Dans de tels cas, l'ESOC est associé à l'analyse et la prédiction du moment et du lieu où les déchets entrèrent dans l'atmosphère, de sorte que les autorités des états membres de l'ESA puissent être prévenues en temps voulu. L'ESOC est aussi le coordinateur du programme de recherche sur les déchets spatiaux de l'ESA, qui se concentre sur les activités suivantes:

- Evaluation et modélisation des particules gravitant autour de la Terre
- Maintenance de la base de données DISCOS sur les déchets spatiaux
- Analyse et prédiction de la durée de vie en orbite des matériels de l'ESA dans l'espace
- Analyse des impacts à hyper-vitesse et mesures de protection
- Méthodes de contrôle des déchets et analyse orbitale.

DISCOS constitue une base de données sans pareille en Europe. Elle contient des informations telles que les paramètres orbitaux, la taille et la masse d'environ 7500 objets spatiaux d'une taille supérieure à 10-20 cm qui circulent dans l'espace. Le catalogue est remis à jour plusieurs fois par semaine lorsque les agences commencent de nouvelles missions ou mettent fin à des missions en cours et à chaque fois que les capteurs optiques et les radars du Réseau américain de surveillance spatiale fournissent de nouvelles informations.

Ces mesures permettent de prévoir l'évolution des quantités de déchets spatiaux. L'objectif à plus long terme est de parvenir à une compréhension globale du phénomène. Ceci permettra de définir et de mettre en œuvre des mesures de réduction afin que les quantités de déchets spatiaux en orbite restent dans des limites acceptables.

Vue aérienne de l'ESOC à Darmstadt (Allemagne)





## Appendice 1: Missions de l'ESA assurées par l'ESOC

Nom	Type de mission	Date de lancement	Durée de la mission (années)	Orbite	Stations	Remarque
ESRO-2	Scientifique	17.05.1968	3	Basse	Redu/Falkland/FBA/ Spitzbergen/Tromsø	
ESRO-1A	Scientifique	03.10.1968	2	Basse	Redu/Falkland/FBA/Tromsø	
HEOS-A1	Scientifique	05.12.1968	7	Très elliptique	Redu/FBA	
ESRO-1B	Scientifique	01.10.1969	2 mois	Basse	Redu/Falkland/FBA/Tromsø	Performances insuffisantes du lanceur
HEOS-A2	Scientifique	31.01.1972	2	Très elliptique	Redu/FBA/Spitzbergen	
TD-1A	Scientifique	12.03.1972	2	Basse	diverses stations	
ESRO-4	Scientifique	20.11.1972	2	Basse	Redu/FBA/Spitzbergen/Tromsø	
COS-B	Scientifique	09.08.1975	7	Très elliptique	Redu	
GEOS-1	Scientifique	20.04.1977	5	GTO	Redu/Odenwald/NASA	
ISEE-2	Scientifique	22.10.1977	10	Très elliptique	STDN	Centre de contrôle à JPL
Meteosat-1	Météorologie	23.11.1977	8	géostationnaire	Odenwald	
IUE	Scientifique	28.01.1978	18 ans/ 8 mois	Très elliptique	Vilspa	Centre de contrôle à Vilspa Mission conjointe avec NASA
GEOS-2	Scientifique	14.07.1978	6	géostationnaire	Redu/Odenwald	
OTS-2	Télécom	11.05.1978	13	géostationnaire	Fucino/Redu	
Meteosat-2	Météorologie	19.06.1981	10	géostationnaire	Odenwald	
Marecs-A	Télécom	20.1.2.1981	14 ans/ 9 mois	géostationnaire	Redu/Vilspa	
Exosat	Scientifique	26.05.1983	3	Très elliptique	Vilspa	
ECS-1	Télécom	16.08.1983	13 ans/ 6 mois	géostationnaire	Redu	Centre de contrôle à Redu
ECS-2	Télécom	04.08.1984	9	géostationnaire	Redu	Centre de contrôle à Redu
Marecs-B2	Télécom	10.11.1984	en cours	géostationnaire	Redu/Vilspa	
Giotto	Scientifique	02.07.1985	en hibernation	Interplanétaire	Carnarvon/Parkes/DSN/Perth	
ECS-4	Télécom	10.09.1987	en cours	géostationnaire	Redu	Centre de contrôle à Redu
Meteosat-P2	Météorologie	15.06.1988	7	géostationnaire	Odenwald	
ECS-5	Télécom	21.07.1988	12	géostationnaire	Redu	Centre de contrôle à Redu
MOP-1	Météorologie	06.03.1989	6	géostationnaire	Odenwald	
Olympus	Télécom	12.07.1989	4	géostationnaire	Fucino	LEOP uniquement
Hipparcos	Scientifique	08.08.1989	4	GTO	Odenwald/Perth/Goldstone	
Ulysses	Scientifique	06.10.1990	en cours	Interplanétaire	DSN	Centre de contrôle à JPL
MOP-2	Météorologie	02.03.1991	en cours	géostationnaire	Odenwald	OCC transféré à Eumetsat
ERS-1	Observation de la Terre	17.07.1991	9	Basse	Kiruna	
Eureca	Microgravité	31.07.1992	1	Basse	MASPAL/KRU	Récupéré par Navette spatiale
MOP-3	Météorologie	20.11.1993	en cours	géostationnaire	Odenwald	OCC transféré à Eumetsat
ERS-2	Observation de la Terre	21.04.1995	en cours	Basse	Kiruna	
ISO	Scientifique	17.11.1995	3	Très elliptique	Vilspa/Goldstone	LEOP assurée par l'ESOC, opérations de routine par Vilspa
Huygens	Scientifique	15.10.1997	en cours	Interplanétaire	par JPL, Pasadena	Mission conjointe avec la NASA (Cassini)
Teamsat	Technologie	31.10.1997	5 jours	GTO	Kourou	Mission conjointe avec l'ESTEC
Pastel	charge utile sur Spot 4	24.04.1998	en cours	Basse		Mission du CNES
XMM	Scientifique	10.12.1999	en cours	très elliptique	Perth, KRU/Santiago (Chile)	
Cluster II	Scientifique	16.07.2000 09.08.2000	en cours	très elliptique	Vilspa	



## Abréviations utilisées

CNES	Centre National d'Etudes Spatiales	NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA) Agence spatiale des Etats-Unis
CSG	Centre Spatial Guyanais		
DCR	Dedicated Control Room at ESOC Salle de contrôle consacré à une mission précise à l'ESOC	NASDA	National Aeronautics and Space Development Agency (Japan) Agence spatiale du Japon
DISCOS	Database and Information System Characterising Objects in Space Base de données des objets dans l'espace	OBDH	On-Board Data Handling System Système informatique embarqué
ESA	European Space Agency Agence spatiale européenne	ODB	Operations Database Base de données de fonctionnement
ESOC	European Space Operations Centre Centre Européen de contrôle des satellites	ORATOS	Orbit and Attitude Operations System Système de contrôle d'orientation et d'orbite
LEOP	Launch and Early Orbit Phase Phase de lancement et de mise en service	PCM	Pulse Coded Modulation Modulation à impulsions codées
MCR	Main Control Room at ESOC Salle de contrôle principale à l'ESOC	RF	Radio Frequency Fréquence radio
MIC	Modulation à impulsions codées		

### Adressess des Services de communication de l'ESA

Siège de l'ESA 8-10 rue Mario Nikis  
F - 75738 Paris Cedex 15  
Tél. (33) 1 53 69 71 55  
Fax (33) 1 53 69 76 90

ESTEC Postbus 299  
NL - 2200 AG Noordwijk  
Tél. (31) 71 565 3006  
Fax (31) 71 565 7400

ESOC Robert-Bosch-Str. 5  
D - 64293 Darmstadt  
Tél. (49) 6151 90 2696  
Fax (49) 6151 90 2961

ESRIN Via Galileo Galilei  
I - 00044 Frascati (Rome)  
Tél. (39) 06 94 18 09 51  
Fax (39) 06 94 18 09 52

Bureau de l'ESA à Washington  
955 L'Enfant Plaza  
Suite 7800  
Washington DC 20024  
USA  
Tél. (1) 20 24 88 41 58  
Fax (1) 20 24 88 49 30

#### Sites Internet de l'ESA:

Page d'accueil de l'ESA <http://www.esa.int>  
Page d'accueil de l'ESRIN <http://www.esrin.esa.int>  
Page d'accueil de l'ESOC <http://www.esoc.esa.int>  
Page d'accueil de l'ESTEC <http://www.estec.esa.int>

**European Space Agency**  
**Agence spatiale européenne**

*Contact: ESA Publications Division*

c/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands

Tel. (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433