

LES CHARGES OPERATIONNELLES INDUITES PAR LE CONTROLE EN ORBITE D'UN SATELLITE GEOSTATIONNAIRE

G. Calès

Centre National d'Etudes Spatiales
Toulouse, France

RESUME

Dans l'état actuel des techniques, le contrôle en orbite d'un satellite géostationnaire est réalisé à partir d'installations terrestres appelées "Système sol de contrôle". Celles-ci comprennent des moyens matériels (infrastructure, équipements), humains et financiers. Il est fondamental d'optimiser le dimensionnement de ces moyens dans le cadre des projets actuels = en effet, les durées de vie des satellites sont de 7 à 10 ans et on peut considérer que les systèmes opérationnels correspondants sont mis en place pour des durées encore plus longues.

Le présent document se propose d'apporter quelques éléments de réflexion à ce propos, en examinant les contraintes imposées par les satellites. Une attention particulière doit être portée aux opérations de contrôle d'attitude et d'orbite. Pour ces dernières, en effet, il s'agit d'associer et de coordonner des moyens de recueil de données de localisation, de traitement et d'interprétation de ces données pour appliquer la stratégie optimale de maintien à poste.

Les paramètres à considérer sont divers :

- . la technologie du satellite, en particulier senseurs d'attitude et les actionneurs ;
- . la longitude du point de stationnement et la fenêtre de maintien à poste ;
- . les moyens de localisation qui, actuellement se répartissent en deux catégories principales : mesure de distance ou mesure angulaire directe (site, azimut).

Tous ces paramètres étant choisis et déterminés au niveau de l'analyse système d'un projet, il importe que les conséquences qu'elles entraînent pour le système sol de contrôle (coûts d'investissement et d'exploitation) soient appréhendées correctement dès la conception du projet.

C'est dire que les responsables du développement et de l'utilisation des moyens de contrôle doivent être associés dès le début aux études système. Dans le même esprit, il nous semble intéressant d'essayer de regrouper les moyens de contrôle de l'orbite avec ceux du suivi de l'attitude, de manière à centraliser en un même lieu les moyens d'information sur l'état du satellite et ceux de décision sur la conduite des opérations. Ces réflexions sont faites à partir de l'expérience acquise par le CNES dans le contrôle de SYMPHONIE, dont quelques résultats (relatifs au contrôle d'attitude et d'orbite) sont présentés ainsi que des études menées pour la définition et la mise en place des systèmes sol de contrôle des futurs satellites nationaux, TELECOM 1 et TDF1 en particulier.

Mots clés : Contrôle en orbite, système sol de contrôle, centre de contrôle, SYMPHONIE, TELECOM 1.

1. INTRODUCTION

Le contrôle en orbite d'un satellite comprend, bien entendu, le contrôle de son attitude et de son orbite mais ces activités, pour le centre de contrôle, sont incluses dans un ensemble plus vaste qui doit prendre en considération la totalité des problèmes liés au maintien du "segment spatial" dans sa capacité opérationnelle.

En effet, en nous limitant en cas d'un satellite géostationnaire (dont la caractéristique principale est alors d'être en visibilité permanente d'au moins une station sol de contrôle) nous considérons le satellite comme l'élément d'un système comprenant :

- . le segment spatial, objet des présentes réflexions ;
- . un segment terrien, composé de "stations d'exploitation" dont nous ne parlerons pas ici, sauf pour prendre en compte les contraintes qu'elles nous apportent :

- disponibilité opérationnelle du segment spatial :

- . une partie de la journée seulement ;
- . ou 24/24h (cas des télécommunications) ;

- précision du maintien en orbite :

- . des antennes terriennes "fixes" imposent le maintien dans une fenêtre étroite" (que nous définissons comme inférieure à $0,1^\circ$ en latitude et longitude) ;
- . des antennes mobiles, "à poursuite automatique du satellite", permettent une fenêtre plus large (définie comme supérieure à $0,1^\circ$ en latitude et longitude).

La précision du maintien en attitude prend en compte des éléments plus complexes : bilans de liaison radioélectriques en phase statique pour le satellite et lors des manoeuvres diverses, car il est demandé que celles-ci (cas des manoeuvres d'attitude et d'orbite, essentiellement) ne perturbent pas la mission.

Le segment sol de contrôle comprend deux entités principales :

- . l'élément de contact avec le satellite, appelé "station" ou réseau de stations, qui dispose de moyens radioélectriques (voir planche 1) =
 - de recueil des signaux de télémétrie ;
 - d'émission des signaux de télécommande ;
 - de moyens de mesures pour la localisation du satellite ;
 - éventuellement de moyens de mesure "externes" tels que mesure du flux émis par le satellite.

PLANCHE 1

. Fonctions du réseau de stations de contrôle

- Principales = réception des signaux de télémesure,
= émission des télécommandes,
= réalisation des mesures de localisation,
= transmission des données vers le centre de contrôle,
- Secondaires = calibration et test des fonctions principales,
= éventuellement, commande du mouvement d'antenne,
= génération d'un temps de référence,
= téléexploitation de la station et communications diverses avec le centre de contrôle ou de coordination.

un élément de centralisation et de traitement de ces informations, appelé "Centre de Contrôle" qui analyse le contenu de ces informations et prend les décisions adéquates concernant le maintien en état du satellite dans les cinq domaines fondamentaux suivants (voir planche 2):

- détermination de l'orbite et programmation des manoeuvres de maintien dans la fenêtre, diagnostic de ces manoeuvres ;
- restitution de l'attitude et décision de correction le cas échéant ;
- état énergétique du système spatial = bilan de puissance du générateur solaire et de la capacité des batteries embarquées ;
- état thermique des équipements avec intervention en cas de refroidissement ou de réchauffement excessif de l'un deux ;
- état général des "charges utiles".

. établir pour les autorités intéressées, des bilans périodiques sur "l'état du système" ;

. être le "centre de renseignements" sur le système spatial, en temps réel ou à terme, par la constitution d'une "banque de données" à laquelle on fera appel :

- soit en cas de problème, pour une analyse détaillée ;
- soit pour assurer le suivi à long terme du comportement des systèmes - sous-systèmes et équipements embarqués à bord du satellite.

Les considérations qui vont suivre n'ont pas pour but de présenter une recette idéale pour décider de la définition et de la mise en place des centres de contrôle mais plutôt d'apporter quelques éléments de réflexions tirées de l'expérience acquise par le CNES :

. après plus de six ans de maintien en orbite des satellites SYMPHONIE (en coopération avec le GSOC) ;

PLANCHE 2

. Fonctions du centre de contrôle des satellites = (en phase de maintien à poste)

- Fonctions "temps réel" = réception, traitement immédiat et stockage de la télémesure pour la surveillance technologique du satellite
 - . élaboration et émission des télécommandes,
 - . suivi des manoeuvres d'attitude.
- Fonctions en "temps peu différé":
 - . restitution de l'attitude,
 - . calcul et réalisation des manoeuvres d'attitude et d'orbite,
 - . archivage opérationnel.
- Fonctions en "temps différé" :
 - . détermination de l'orbite,
 - . optimisation des manoeuvres d'orbite pour le maintien à poste,
 - . analyse du comportement des sous-systèmes du satellite, surveillance de leur évolution et intervention éventuelle (alimentation électrique, température, etc...).
- Fonctions annexes = gestion opérationnelle du réseau de stations sol "spécifiques"
 - . liaisons avec les stations de contrôle et le centre d'utilisateurs de la charge utile,
 - . émission périodique de documents sur l'état du satellite,
 - . surveillance des équipements sol de contrôle "spécifiques",
 - . création d'une banque de données.

Mais en fait, le centre de contrôle a une mission plus vaste :

- . maintenir, quel que soit l'incident qui peut survenir, en priorité, la survie du système spatial, sinon la capacité opérationnelle du système ;

. par les études menées actuellement pour la réalisation et la mise en oeuvre des systèmes sol de contrôle ou satellites nationaux tels que TELECOM 1 ou TDF 1.

2. L'EXPERIENCE TIREE DU CONTROLE DE SYMPHONIE

2.1. Généralités

SYMPHONIE a été le premier satellite géostationnaire en Europe, son caractère expérimental ne s'est pas limité à ses technologies originales, ni à ses utilisations du type "télécommunications" mais il s'est étendu aux moyens et aux méthodes de contrôle en orbite.

La mise à poste a bien entendu fait l'objet de nombreuses réflexions et de développements importants, mais il faut bien avouer que, avant son lancement, bien peu de personnes s'imaginaient la charge de travail qu'il représenterait ensuite... Les équipes avaient cependant l'habitude du contrôle de "routine" de satellites à défilement, de durée de vie utile de un à deux ans ; aussi la conception et la mise en place des moyens de contrôle a-t-elle tenu compte, au mieux, des moyens multisatellites déjà existants.

Par la suite, le succès grandissant des "utilisations" de SYMPHONIE a très tôt conduit les centres d'opérations français et allemand à réaliser un contrôle de type opérationnel c'est-à-dire d'assurer un maximum de disponibilité des répéteurs quels que soient les problèmes technologiques rencontrés.

2.2. Les moyens

Rappelons brièvement les moyens mis en place par le CNES pour le contrôle de SYMPHONIE :

Le système sol de contrôle représenté sur la planche 3 montre l'ensemble du réseau utilisé pour la mise à poste du satellite et comprenant, outre les trois stations VHF de TOULOUSE, PRETORIA et KOUROU, reliés par le système de transmissions de données RESEDA (4800 bauds; télémesure, télécommande et messages opérationnels) aux moyens informatiques du Centre Spatial de TOULOUSE, soit :

- les CII 10070 utilisés en "temps réel" avec les stations (télémesure, télécommande) pour les calculs d'attitude, d'orbite (sauf sa détermination) et la surveillance technologique pendant les manoeuvres ;

- le CDC 7000 utilisé pour la détermination d'orbite.

En phase d'exploitation, le contrôle du satellite est assuré par des moyens spécifiques :

- la station SHF de TOULOUSE (télémesure, télécommande et localisation par mesure angulaire) ;

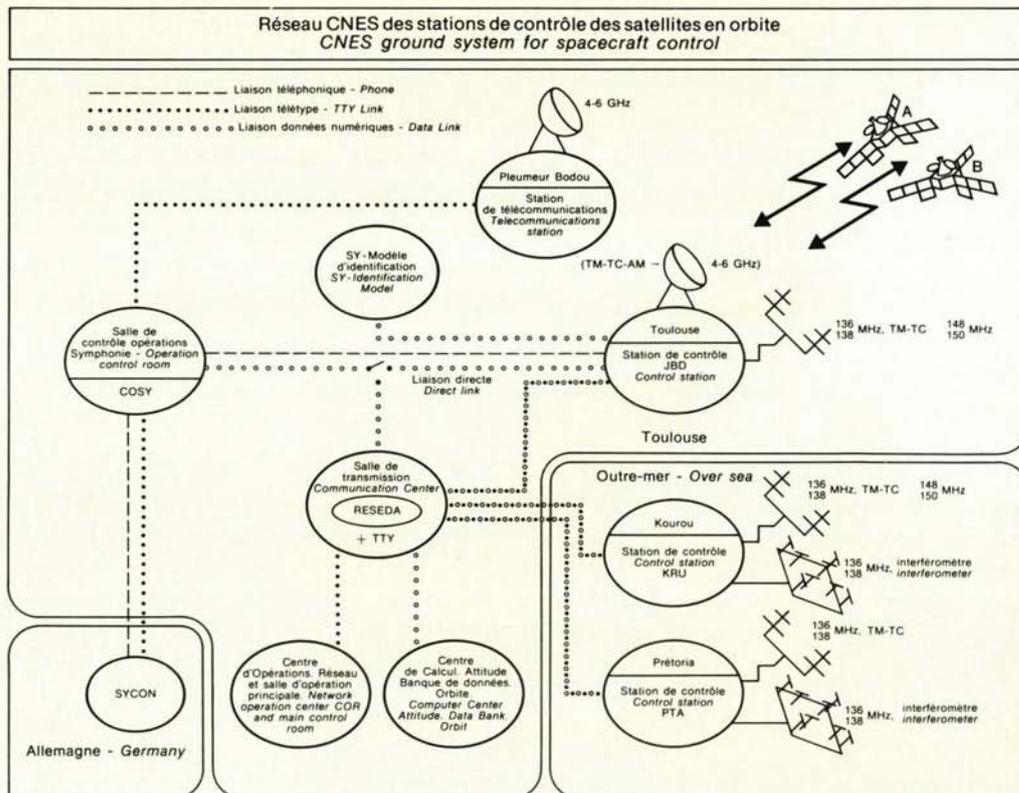
- le Centre d'Opérations SYMPHONIE (COSY), organisé autour d'un MITRA 15 pour le traitement temps réel de la télémesure.

Ces ensembles sont complétés par les calculateurs utilisés en temps différé dans les tâches suivantes :

- CII 10070 pour la constitution, l'exploitation de la banque de données et les calculs relatifs au maintien à poste ;

- CDC 7000 pour la détermination d'orbite.

PLANCHE 3



La configuration "mise à poste" est réactivée chaque fois que des opérations "critiques" sont réalisées sur le satellite.

En ce qui concerne les moyens en personnel, le COSY comporte une équipe de cinq contrôleurs assurant une permanence 24/24 h, renforcée par deux contrôleurs pour les manoeuvres critiques et éclipses et encadrée par deux ingénieurs. Un support de spécialistes d'attitude, d'orbite et des sous-systèmes du satellite est assuré de façon temporaire ou à la demande suivant le cas.

2.3. Les opérations

Les principaux événements opérationnels qui n'ont pas été prévus avant le lancement et auxquels il est nécessaire de faire face pendant la vie en orbite des satellites sont maintenant rapidement présentés :

(a) les changements intempestifs de configuration

Peu après sa mise à poste, des commutations inattendues et imprévisibles se sont produites sur des relais électroniques (jamais sur des relais électro-magnétiques). Les principaux sous-systèmes atteints ont été l'alimentation électrique (charge, décharge des batteries) et la TM-TC (changement de cadence, de format). La remise en configuration nominale s'effectue par télécommande. Ces phénomènes, attribués à des décharges électrostatiques en surface du satellite ont confirmé la nécessité d'une surveillance permanente de l'état des satellites.

Très nombreux en début de vie en orbite, leur cadence s'est considérablement ralentie avec le vieillissement des satellites : de telles commutations sont maintenant exceptionnelles.

(b) le maintien en état des batteries

Elles n'affectent pas les capacités opérationnelles du système puisque de toutes façons il a toujours été nécessaire de couper les répondeurs pendant la traversée des éclipses. Mais leur fonctionnement en période d'ombre devrait permettre le maintien de l'attitude (dite 3 axes) du satellite et si possible du contact TM-TC. Leur maintenance en orbite a représenté une très grosse quantité de travail : nombreux reconditionnements, charges de plus en plus longues compliquées par des élévations de températures nuisibles à leur bon état. Actuellement, elles sont pratiquement épuisées, et la roue à inertie s'arrête à chaque éclipse, ce qui a pour effet de mettre le satellite en rotation. Une réacquisition de la terre a lieu après chaque ré-ensemblement par la remise en marche de l'asservissement de tangage au bon moment ce qui permet de restabiliser le satellite, tout en n'affectant pas les réserves d'azote consacrées aux redressements de l'axe X et, maintenant, aux corrections d'orbite.

(c) le contrôle thermique

Il a été conçu, sur SYMPHONIE de type passif avec adjonction de réchauffeurs électriques en nombre limité pour quelques éléments particulièrement critiques (moteurs bi-liquides et générateur solaire).

L'activation de ces réchauffeurs se fait par télécommande mais l'action du centre de contrôle est très limitée. Les principaux sous-systèmes concernés par des dépassements de températures critiques sont :

- . les transistors du dissipateur SHUNT,
- . les collecteurs des T.O.P.,

et comme déjà signalé, les batteries.

L'action du COSY est essentielle pour maintenir la température du dissipateur SHUNT, organe vital, dans les températures acceptables - par action de mise en marche - d'arrêt -

- des charges de batterie,
- de la haute puissance sur les émetteurs TM - VHF,
- des résistances de chauffage diverses

et ceci en fonction de l'heure de la journée et de la saison pour équilibrer les courants entre la barre bus et le shunt.

(d) la stabilisation

Alors que les corrections de l'axe X étaient initialement prévues pour être quotidiennes, une fréquence réelle de une à deux par semaine s'est révélée très suffisante. Ce qui explique qu'actuellement après avoir largement dépassé sa durée de vie nominale en orbite, les réserves d'azote sont à peine à moitié entamées ! Le fonctionnement pratiquement parfait du système de stabilisation dit à "gaz-froids" est d'ailleurs à souligner.

Par contre deux sous-systèmes ont particulièrement sollicité l'activité des centres de contrôle :

(d-1) La roue à inertie dont les frottements ont brutalement augmentés après deux ans de vie en orbite, sur un modèle, pour disparaître ensuite pendant trois ans et réapparaître à un degré moindre ensuite. Les meilleurs traitements trouvés contre ces phénomènes ont été de laisser la roue en rotation libre pendant des périodes de deux à trois semaines ; il semble aussi que les commutations dues aux éclipses sans batterie soient bénéfiques...

(d-2) Le sous-système de contrôle d'orbite et d'attitude bi-liquide.

Deux types de dégradation sont apparus sur ce sous-système :

- . sur une branche, une baisse progressive de la poussée des tuyères correspondantes ;
- . sur toutes les autres branches, mais à des dates très différentes, un phénomène de fuite déstabilisant le satellite soit en phase inertielle, donc inerte pour ce sous-système, soit en phase active de manoeuvre.

Les tests en vol pour essayer de trouver l'origine et la nature de ces dégradations, pour mettre au point des manoeuvres de secours et ensuite l'exécution de ces manoeuvres de secours ont été une très lourde charge pour les centres de contrôle. Le résultat a été de maintenir le satellite dans les conditions d'orbite spécifiées assez longtemps après que les pannes soient apparues et malgré elles.

Il ne faut pas oublier de rappeler, à ce propos, l'aide appréciable, apportée par un simulateur sol constitué du modèle d'identification électrique de SYMPHONIE associé à un calculateur simulant la dynamique en vol.

2.4. Conclusion

La richesse de l'expérience acquise par le CNES dans le contrôle de SYMPHONIE tient, bien entendu, au fait d'avoir dû résoudre les problèmes réels, sur un satellite en orbite, mais aussi, à l'excellente collaboration avec la partie allemande du Projet confrontée aux mêmes difficultés et, à un degré moindre, aux échanges d'informations et comparaisons qui ont eu lieu avec les autres centres européens, tels que OTS et SIRIO.

3. LA CONCEPTION DES FUTURS CENTRES DE CONTROLE

3.1. Généralités

Le CNES est maintenant confronté aux problèmes de conception, de réalisation et de mise en oeuvre des systèmes sol de contrôle des projets dé-cidés, à savoir :

- . le satellite de télécommunications national TELECOM 1,
- . le satellite de télévision directe TDF 1,
- . le satellite d'observation de la terre SPOT.

Ces projets ont une caractéristique commune : c'est qu'ils seront les premiers éléments mis en place pour un service opérationnel à longue durée de vie, sinon permanent, soit avec des satellites ayant eux même une longue durée de vie (7 ans pour les géostationnaires), soit avec des satellites renouvelables (cas de SPOT).

Un certain nombre de critères de choix prennent alors une grande importance =

- . les matériels, informatiques en particulier, dont la pérennité et la maintenance doivent être assurés pour au moins une décennie malgré les progrès dans la matière ;
- . les personnels dont le renouvellement, obligatoire sur une longue durée, doit être assuré en maintenant, tant du côté support technique (industriel y compris) que centres de contrôle, la compétence suffisante ;
- . l'équilibre judicieux entre d'une part moyens matériels et humains, d'autre part, moyens spécifiques et multimission, pour qu'au plan économique le système proposé soit viable.

Le projet du système sol pour TELECOM 1 étant le plus avancé, c'est celui qui sera présenté comme illustration des propos énoncés =

3.2. Les contraintes de TELECOM 1

Les contraintes du Projet TELECOM 1 diffèrent sensiblement de celles de SYMPHONIE, évoquons les principales :

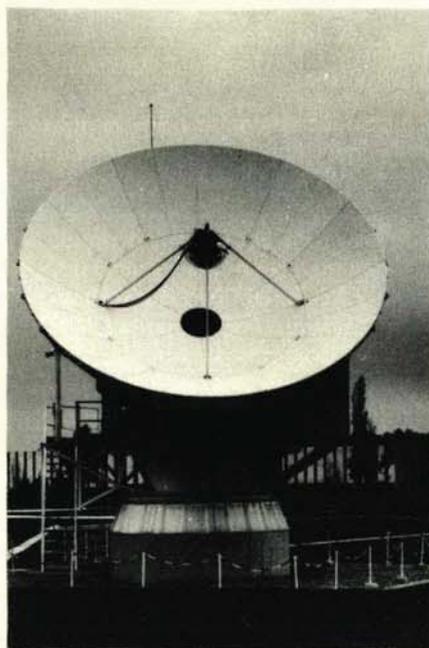
- . il y a deux satellites (éventuellement trois), à surveiller à l'aide d'un seul centre de contrôle ;

- . le satellite de secours étant maintenu dans une fenêtre à $\pm 0,1^\circ$ en latitude et longitude, le satellite opérationnel doit être maintenu dans une fenêtre de $\pm 0,05^\circ$ en latitude et de $\pm 0,06^\circ$ en longitude ;
- . le satellite opérationnel doit garder la pleine capacité de ses répéteurs pendant les éclipses (et ceci durant les 7 ans de durée de vie en orbite) ;
- . enfin la technologie du satellite est très différente = masse et volume plus importants ; système d'alimentation par barre non régulée ; maintien en attitude entièrement automatisé à bord, nombre de répéteurs, etc... Une analogie par contre, avec SYMPHONIE = le contrôle complet du fonctionnement des répéteurs, de même que la surveillance de leur utilisation n'est pas du ressort du centre de contrôle mais d'un centre "charge utile" situé à distance, avec lequel un système rapide d'échange d'informations détaillées sera mis en place.

3.3. Le système sol de contrôle de TELECOM 1 en "mise à poste"

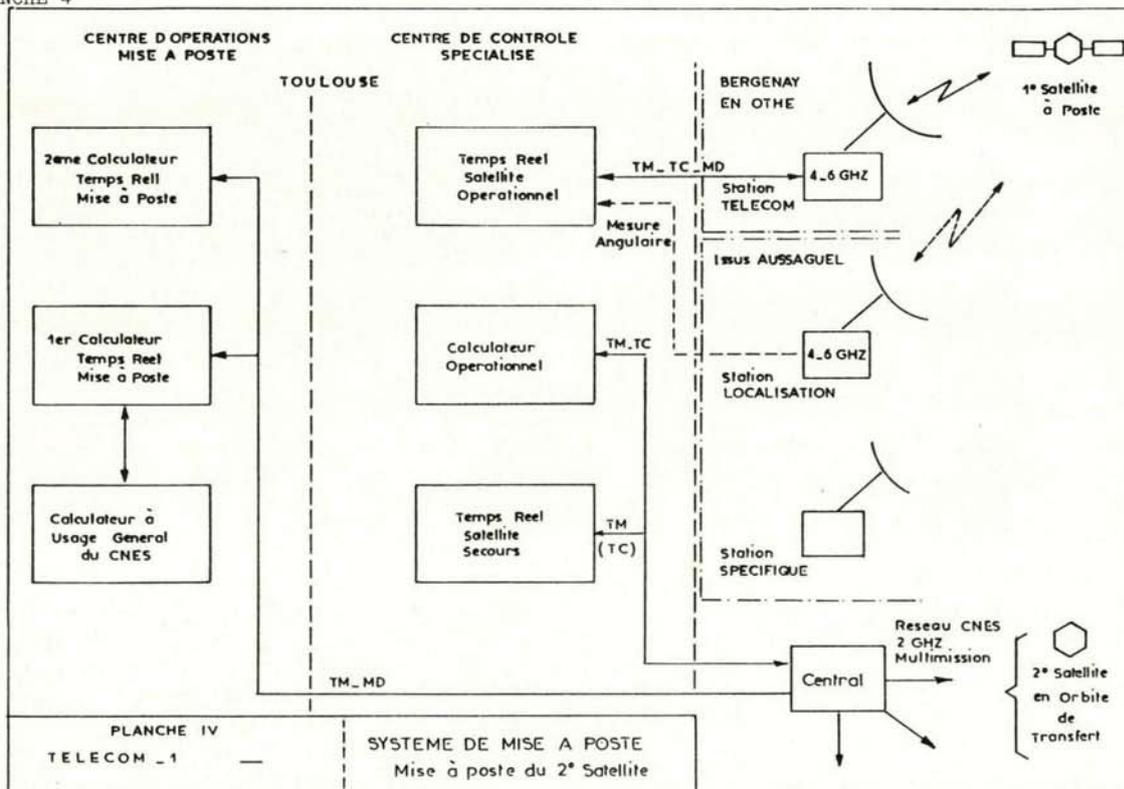
Comme dans la plupart des cas analogues, le système sol de TELECOM 1 est différent pour la mise à poste ou pour la phase d'exploitation.

En effet, la mise à poste (depuis le lancement jusqu'à la mise en service opérationnel) est une phase d'opération mobilisant de nombreux moyens, importants, pour une durée courte vis à vis de la phase d'exploitation. Le CNES a donc choisi d'utiliser des moyens "multimission" (voir planche 4) :



L'antenne SYMPHONIE, à TOULOUSE, sera réinstallée à ISSUS-AUSSAGUEL pour le contrôle de TELECOM 1

PLANCHE 4



Le réseau de stations du CNES, en cours de réalisation, à 2 GHz et comprenant les trois stations de TOULOUSE - ISSUS, de KOUROU et PRETORIA sera, suivant nécessité complété par les stations de l'ESOC (MALINDI - CARNARVON) ou de la NASA (ORRORAL, GOLDSTONE) pour couvrir les orbites de transfert. Le centre de mise à poste, à TOULOUSE sera relié par un nouveau système de transmissions de données (9600 bauds) pour la télémesure, la télécommande, la localisation et les autres fonctions annexes aux stations du CNES ainsi qu'aux centres de contrôle ESOC et NASA.

Au Centre Spatial de TOULOUSE, le centre de mise à poste comprendra :

- . le centre de contrôle spécialisé TELECOM 1, pour la surveillance technologique et l'envoi des télécommandes ;
- . le centre de calcul multimission pour les traitements temps réel d'attitude et pour les calculs de manœuvre et d'orbite ;
- . le centre d'orbitographie qui sera chargé de la détermination d'orbite.

Bien que similaire, dans son architecture, au système de mise à poste SYMPHONIE, le système de mise à poste de TELECOM 1 est complètement différent :

- . les stations, nouvelles, fonctionnant dans la bande des 2 GHz et non plus en VHF (elles sont toutes implantées à des endroits différents des stations VHF) ; en particulier elles ne traitent plus la télémesure et ne génèrent pas les télécommandes ; fonctions entièrement reportées au centre de contrôle ;

. le système de transmissions de données est "transparent" ;

. les centres de contrôle spécialisés et multimission sont équipés de matériel SOLAR 16-40 ou 16-65 et non plus de MITRA 15 ou CII 10070 ;

. le centre informatique, pour les déterminations d'orbite, dispose de deux CYBER 175/750 entièrement redondants en remplacement de CDC 7000.

A quelques variantes près, un système sol identique est prévu pour les lancements de TDF1 et de SPOT.

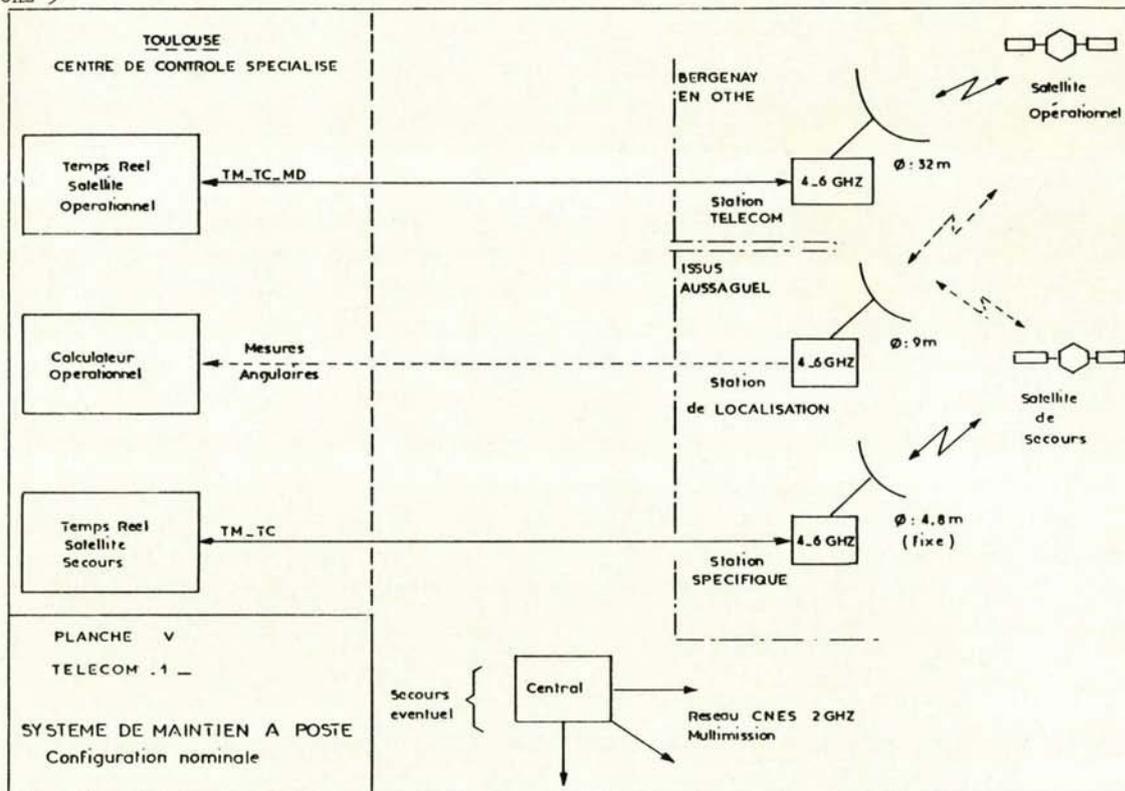
3.4. Le système sol de TELECOM 1 en phase d'exploitation

Pour cette phase, il est apparu judicieux d'utiliser des moyens spécifiques et autonomes décrits ci-après (voir planche 5) :

(a) Le réseau de stations de contrôle spécifique fonctionne dans les bandes de télécommunications à 4 et 6 GHz :

- . la station principale de trafic télécommunications assure les fonctions télémesure, télécommande et localisation par mesure de distance avec le satellite opérationnel ;
- . le satellite de secours en orbite est en liaison permanente, pour les télémesures et les télécommandes avec une station spécifique de contrôle, qui, en outre, est équipée d'un système de mesure de distance à titre de secours ;

PLANCHE 5



L'ex-station SHF SYMPHONIE, reconvertie, est utilisée pour la localisation, par mesures angulaires, sur les deux satellites en orbite. Elle assure en outre la redondance des deux autres stations en télémesure et télécommande. L'avantage de ce réseau réside dans son autorédundance pour les fonctions TM-TC et son autonomie territoriale pour la localisation.

(b) Les stations, comme celles du Réseau à 2GHz, sont transparentes en ce qui concerne la télémesure et la télécommande. Elles sont reliées directement par équipements de transmissions de données (similaires à ceux du Réseau 2 GHz) au centre de contrôle spécialisé.

(c) Le centre de contrôle spécialisé

Il est organisé autour de trois calculateurs SOLAR 16/65 dont les fonctions sont en gros les suivantes :

- deux d'entre eux assurent les fonctions temps réel d'acquisition et de traitement de la télémesure de chacun des satellites, ainsi que la génération des télécommandes ;
- le troisième assure toutes les fonctions en temps différé de détermination de l'orbite géostationnaire des deux satellites ainsi que tous les calculs relatifs aux manoeuvres correspondantes ; de même qu'il permet une surveillance technologique restreinte mais rapide des satellites.

Le Centre est aussi équipé de moyens informatiques pour la surveillance globale du système de stations spécifiques et la liaison avec le centre de contrôle des charges utiles.

Il dispose, en outre des équipements de liaisons interphoniques, téléphoniques et télégraphiques avec les stations, le centre charges utiles et le centre d'opérations du Réseau multimission à 2 GHz.

En effet, en cas de nécessité (perte d'attitude des satellites en particulier) il peut être nécessaire de refaire appel au Réseau 2 GHz multimission ainsi qu'aux autres moyens du centre qui assurent, en ce qui concerne le système sol, un secours au 2ème niveau.

Notons enfin que, à la suite de l'expérience de SYMPHONIE, le centre de contrôle spécialisé disposera de l'accès à un simulateur dynamique, logiciel, pendant toute la durée de vie du système de manière à entraîner les personnels d'opération aux cas dégradés d'attitude et, si nécessaire, pour mettre au point des procédures de secours.

3.5. Moyens en personnel

Le système est conçu en tentant de minimiser les besoins en personnel d'exploitation. Les stations spécifiques de contrôle ont des paramètres "figés" sur une, deux ou trois valeurs et les changements dans le temps sont peu nombreux. Elles sont donc, pour ces fonctions, automatisées au maximum ; sur place une permanence est maintenue pour pallier un mauvais fonctionnement seulement.

En compensation, leur état de fonctionnement est déporté au centre de contrôle d'où sont exécutées toutes les fonctions répétitives et de "routine" :

- . déclenchement des localisations (mesure de distance ou angulaire) ;
- . tests des boucles de télécommande et de localisation ;
- . mise en configuration pour l'envoi des télécommandes ;
- . changement des fréquences d'émission et de réception et de la position d'antenne de la station de localisation.

Le centre de contrôle est organisé pour que, lors des simples opérations de surveillance (c'est-à-dire hors manoeuvre) un seul contrôleur puisse suffire à la tâche. Toutefois, les règlements de sécurité, du travail en particulier, exigeant qu'au moins deux personnes soient présentes dans un même local lorsqu'une certaine quantité de matériel s'y trouve rassemblée, deux contrôleurs occuperont en permanence le centre. Ils seront bien sûr renforcés pour chaque manoeuvre considérée comme critique : celles d'orbite et les éclipses, dans l'état actuel de la connaissance du satellite.

Les manoeuvres d'orbite sont considérées comme très contraignantes = pour les satellites opérationnels, on prévoit qu'elles exigent une manoeuvre tous les quatre ou cinq jours (inclinaison, excentricité ou est-ouest), avec les localisations et les calculs correspondants, cela représente une charge de travail importante et consommatrice de personnel.

Les effectifs nécessaires à ce centre de contrôle sont actuellement estimés à 14 contrôleurs et 5 ingénieurs, alors que si les deux satellites étaient à maintenir à $\pm 0,1^\circ$, il est considéré qu'une équipe de 12 contrôleurs et 4 ingénieurs serait suffisante.

4. CONCLUSION

Les réflexions qui précèdent ne font pas le tour du sujet. Néanmoins elles permettent de dégager la philosophie du CNES dans la conception des centres de contrôle futurs :

- . recherche d'une autonomie des centres, au niveau des matériels informatiques essentiellement par l'utilisation de mini-calculateurs d'une même

famille, sinon de même type, ce qui permet à la fois une certaine standardisation des équipements et des logiciels tout en permettant, avec la souplesse nécessaire, l'adaptation aux contraintes particulières à chaque projet ;

- . équilibre entre la mise en oeuvre de moyens multimitission, puissants mais de mise en oeuvre assez lourde et les moyens spécifiques, plus simples et de mise en oeuvre aisée.

La centralisation géographique au Centre Spatial de TOULOUSE n'est pas une fin en soi mais, elle présente un certain nombre d'avantages qui sont, pour les principaux :

- . l'économie lors de l'échange nécessaire des informations entre les moyens multimitission et spécifiques, associés pendant les phases de développement du système sol et de mise à poste des satellites ;
- . la possibilité de réduire au minimum les redondances des systèmes spécifiques, car la proximité des moyens multimitission permet de les prévoir en secours au 2ème niveau, de tout ou partie des équipements spécifiques, pour des périodes de courte durée ;
- . la proximité du Centre Technique, donc des différents spécialistes "bord" permet non seulement de faire appel à eux en cas d'éventuels problèmes sur les satellites, mais favorise l'échange des informations entre équipes d'exploitants et de conception des matériels "bord", c'est un élément essentiel de la progression dans les techniques spatiales.

En résumé, économie et sécurité de fonctionnement sont le principal souci des responsables de la mise en place des systèmes sol de contrôle, c'est la garantie d'une exploitation opérationnelle efficace.

REFERENCES :

- . Textes des conférences du SYMPOSIUM SYMPHONIE de BERLIN, 1980 : en particulier celles N° 53 - 54 - 55 - 56 - 57 et 74.
- . Cours de technologie spatiale du CNES, 1980 : "Le mouvement du véhicule spatial en orbite".