



## SECTEUR DES RADIOCOMMUNICATIONS DE L'UIT

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radio-communication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

### **Pour tout renseignement sur les questions de radiocommunication**

*Veillez contacter:*

UIT  
Bureau des radiocommunications  
Place des Nations  
CH-1211 Genève 20  
Suisse

Téléphone: +41 22 730 5800  
Téléfax: +41 22 730 5785  
E-mail: [brmail@itu.int](mailto:brmail@itu.int)  
Web: [www.itu.int/itu-r](http://www.itu.int/itu-r)

### **Pour commander les publications de l'UIT**

*Les commandes ne sont pas acceptées par téléphone. Veillez les envoyer par télécopie ou par courrier électronique (E-mail).*

UIT  
Division des ventes et du marketing  
Place des Nations  
CH-1211 Genève 20  
Suisse

Téléphone: +41 22 730 6141 anglais  
Téléphone: +41 22 730 6142 français  
Téléphone: +41 22 730 6143 espagnol  
**Téléfax: +41 22 730 5194**  
Télex: 421 000 uit ch  
Télégramme: ITU GENEVE  
**E-mail: [sales@itu.int](mailto:sales@itu.int)**

**La Librairie électronique de l'UIT: [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)**



Union internationale des télécommunications

***Manuel***

***Service mobile par satellite (SMS)***



## AVANT-PROPOS

Dans le monde tel que nous le connaissons aujourd'hui les gens se déplacent de plus en plus, que ce soit pour leur travail ou pour leurs loisirs. Cette tendance s'est traduite au cours des deux à trois dernières décennies, par une demande accrue dans le domaine des services mobiles par satellite (SMS) de toutes espèces: services mobiles maritime, aéronautique et terrestre par satellite. Ces besoins ont été bien documentés au sein de l'UIT, par de nombreuses études et propositions qui ont abouti récemment à la création d'un certain nombre de nouvelles attributions de fréquences radioélectriques à l'usage du SMS. A l'extérieur de l'UIT, la presse professionnelle et des articles publiés dans les journaux et les revues mettent souvent en relief les bienfaits du SMS, en particulier dans des applications telles que les secours en cas de catastrophe et les interventions dans les situations d'urgence en rapport avec les opérations de recherche et de sauvetage. On s'intéresse aussi, dans le monde entier, à la mise en place du SMS dans les pays en développement, avec la mise à disposition de services de télécommunication viables dans les zones souffrant d'une faible densité téléphonique.

Le présent Manuel consacré au SMS met bien en évidence, dans un seul ouvrage, les nombreuses possibilités offertes par les systèmes du SMS actuellement en service – et par les systèmes en cours de réalisation – dans notre monde de la mobilité.

La naissance du SMS a été la conséquence de la création et du développement d'Inmarsat, instance mise en place par l'Organisation maritime internationale pour gérer les télécommunications maritimes par satellite. C'est ce qui a conduit le Secteur des radiocommunications de l'UIT à intervenir, à un stade précoce, pour définir les premières attributions de fréquences à l'usage du SMS, dans les bandes 1,5/1,6 GHz, et à l'usage des RLS (radiobalises de localisation des sinistres) dans la bande des 406 MHz. Le Secteur des radiocommunications a également élaboré les normes techniques applicables aux réseaux du SMS.

Le Règlement des radiocommunications de l'UIT contient aujourd'hui de nombreuses attributions de fréquences faites au SMS au-dessous de 1 GHz, et d'autres encore entre 1 et 3 GHz – nombre de ces attributions ayant été décidées par les Conférences mondiales des radiocommunications de 1992 et 1995. En dépit du regain d'intérêt que le SMS a suscité au cours des dix dernières années, nombreux sont les acteurs du domaine des télécommunications qui connaissent mal les possibilités de même que les tenants et les aboutissants de ce service de télécommunication par satellite. Le Manuel sur le SMS est conçu comme un ouvrage d'une lecture aisée qui traite de toute une série de sujets: principes de base de la conception du SMS, applications types et les applications potentielles des communications dans le SMS, bandes de fréquences à la disposition du SMS, dispositions réglementaires spéciales de l'UIT relatives au SMS dans le Règlement des radiocommunications, bref exposé général sur les aspects techniques des systèmes du SMS. Le Manuel s'achève sur une présentation synoptique des caractéristiques techniques et d'exploitation de quelques systèmes du SMS actuellement en exploitation destinés à être lancés prochainement.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
CHAPITRE 1 – INTRODUCTION DU MANUEL SUR LE SERVICE MOBILE PAR SATELLITE.....	1
1.1 Vue d'ensemble du Manuel.....	1
1.1.1 Objet du Manuel .....	1
1.1.2 Composition du Manuel.....	1
1.2 Historique de l'évolution des réseaux du SMS .....	1
1.3 Exposé sur les aspects techniques des systèmes du SMS.....	5
1.4 Architecture générale des systèmes du SMS .....	11
1.4.1 Fonction des liaisons de connexion dans les réseaux du SMS .....	12
1.5 Types d'orbites utilisées par les systèmes du SMS: OSG, LEO et MEO .....	14
1.6 Conclusion .....	15
CHAPITRE 2 – ATTRIBUTION DES BANDES DE FRÉQUENCES ET ASPECTS RÉGLEMENTAIRES (SELON LE RÈGLEMENT DES RADIOCOMMUNICATIONS DE L'UIT) .....	17
2.1 Définitions générales afférentes aux SMS – Terminologie .....	17
2.2 Bandes de fréquences attribuées au SMS (Article 5 du RR) .....	18
2.2.1 Bandes de fréquences attribuées au SMS au-dessous de 1 GHz .....	19
2.2.2 Bandes de fréquences attribuées au SMS entre 1 et 3 GHz.....	20
2.3 Problèmes de réglementation posés par le partage des fréquences dans les bandes attribuées au SMS .....	21
2.3.1 Partage des fréquences entre réseaux du SMS.....	21
2.3.2 Partage des fréquences entre les réseaux du SMS et d'autres services .....	22
2.4 Autres types de SMS spécialisé bénéficiant d'un statut spécial dans le RR .....	23
2.4.1 Détresse et sécurité – Dispositions spéciales du RR.....	23
2.4.1.1 SMDSM: détresse et sécurité.....	23
2.4.1.2 Sécurité dans le SMS aéronautique.....	25
2.4.1.3 Fonctions de radiorepérage incorporées et intégrées .....	26
2.5 Stations terriennes de liaison de connexion dans le SMS.....	27
2.5.1 Stations terriennes de liaison de connexion – Réseaux OSG du SMS .....	27
2.5.2 Stations terriennes de liaison de connexion – Réseaux non OSG du SMS .....	27
2.6 Rôle du SMS dans les IMT-2000.....	28
2.6.1 Composante satellites des IMT-2000.....	28
2.7 Systèmes mobiles mondiaux de communications personnelles par satellite .....	30

CHAPITER 3 – APPLICATIONS TYPES ET APPLICATIONS POTENTIELLES DES COMMUNICATIONS DANS LE SMS .....	33
3.1 Applications générales pour les SMS maritime, aéronautique et terrestre .....	33
3.2 Applications dans les pays en développement.....	33
3.3 Applications reposant sur des infrastructures de télécommunication très développées	35
3.4 Fonctionnement du SMS en mode type «mini LEO» dans les bandes inférieures à 1 GHz .....	35
3.4.1 Applications types et potentielles des communications autres que vocales dans le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz.....	35
3.5 Types de service (téléphonie, télécopie, données et courrier électronique) .....	37
3.5.1 Services de base .....	37
3.5.2 Applications utilisateur .....	37
3.5.2.1 Courrier électronique .....	37
3.5.2.2 Transmission vidéo .....	38
CHAPITRE 4 – ASPECTS TECHNIQUES DES SYSTÈMES DU SMS .....	41
4.1 Architecture des systèmes et commande des réseaux.....	41
4.1.1 Vue d'ensemble de l'architecture des systèmes et de la commande des réseaux ...	41
4.1.1.1 SMS type OSG.....	41
4.1.2 Planification du trafic.....	42
4.1.2.1 Planification à long terme .....	42
4.1.2.2 Planification à court terme .....	43
4.1.2.3 Exemple de SMS type non OSG.....	3
4.1.3 Méthodes d'assignation des canaux .....	44
4.1.3.1 Accès multiple par assignation en fonction de la demande .....	44
4.1.3.2 SMS type OSG (station coordonnatrice de réseau Inmarsat) .....	44
4.1.3.3 Gestion de la ressource satellite dans le SMS type non OSG.....	48
4.1.3.4 Commande d'assignation des canaux pour le SMS type non OSG.....	48
4.1.3.5 Diversité et transfert des satellites .....	49
4.1.3.6 Assignation des canaux et mesures antibrouillage.....	49

	Page
4.2	Caractéristiques générales des STM ..... 50
4.2.1	STM sur véhicules ..... 52
4.2.2	Stations terriennes personnelles ..... 54
4.2.3	RLS par satellite ..... 54
4.2.3.1	COSPAS-SARSAT ..... 55
4.2.3.2	Inmarsat-E ..... 58
4.2.4	STM spéciales ..... 59
4.3	Caractéristiques générales du secteur spatial du SMS ..... 59
4.3.1	Systèmes à satellites du SMS, type OSG (internationaux et nationaux) ..... 60
4.3.1.1	Choix des positions orbitales ..... 61
4.3.2	Satellites non OSG ..... 61
4.3.2.1	Choix des caractéristiques des constellations ..... 62
4.4	Interfonctionnement avec les réseaux de Terre ..... 62
4.4.1	STP – Fonctionnement et gestion ..... 62
4.4.1.1	Remarques générales ..... 62
4.4.1.2	Organisation de la maintenance ..... 64
4.4.1.3	Principes et dispositions d'exploitation ..... 66
4.4.2	Connexions avec le réseau téléphonique et le réseau de transmission de données ..... 66
4.4.3	Connexions avec les systèmes mobiles de Terre (par exemple, IMT-2000) ..... 67
4.5	Principes d'ingénierie des systèmes du SMS ..... 68
4.5.1	Couverture et diagrammes de rayonnement (faisceaux) des antennes des satellites ..... 68
4.5.2	Modulation de la porteuse et techniques d'accès multiple ..... 70
4.5.2.1	Modulation de la porteuse ..... 70
4.5.2.2	Méthodes d'accès multiple ..... 73
4.5.3	Conception des liaisons ..... 78
4.5.3.1	Structure d'une liaison mobile par satellite ..... 78
4.5.3.2	Conception des liaisons pour les systèmes du SMS ..... 80
4.5.3.3	Exemple de calcul de la liaison aller ..... 81
4.5.3.4	Exemple de calcul d'une liaison retour ..... 83

CHAPITRE 5 – CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET D'EXPLOITATION DE QUELQUES SYSTÈMES DU SMS EXISTANTS OU EN PROJET....	87
5.1 Système de transport multifonctionnel par satellite (MTSAT).....	87
5.1.1 Vue d'ensemble du système .....	87
5.1.2 Architecture et caractéristiques techniques du système.....	88
5.1.3 Secteur spatial du système MTSAT .....	89
5.1.4 Secteur terrien du système MTSAT.....	90
5.1.4.1 Stations terriennes au sol .....	90
5.1.4.2 Station terrienne aéronautique .....	90
5.1.5 Service et applications .....	91
5.1.5.1 Services mobiles aéronautiques par satellite.....	91
5.1.5.2 MSAS: Système à satellite complémentaire de MTSAT .....	91
5.2 Le système Leo One.....	92
5.2.1 Vue d'ensemble du système mobile à satellites Leo One .....	92
5.2.2 Architecture systémique du réseau Leo One .....	92
5.2.2.1 Caractéristiques orbitales du système Leo One .....	93
5.2.2.2 Secteur spatial (charge utile des satellites) .....	93
5.2.2.3 Terminaux mobiles .....	94
5.2.2.4 Stations terriennes passerelles.....	95
5.2.3 Service et applications .....	96
5.2.4 Caractéristiques spécifiques du système Leo One dans le SMS.....	96
5.2.5 Site web du système Leo One .....	96
5.3 Le système mobile à satellites canadien de TMI Communications.....	99
5.3.1 Introduction.....	99
5.3.2 Description du système .....	100
5.3.3 Secteur spatial .....	101
5.3.4 Secteur terrien .....	102
5.3.5 Services de communication .....	103
5.3.5.1 Service téléphonique à commutation de circuits .....	103
5.3.5.2 Services de transmission de données par paquets.....	104
5.3.6 Références bibliographiques .....	104

	Page
5.4 Le système mobile de télécommunications par satellite N-STAR .....	105
5.4.1 Vue d'ensemble .....	105
5.4.2 Architecture et caractéristiques techniques du système .....	106
5.4.2.1 Principales caractéristiques du système .....	106
5.4.2.2 Satellite N-STAR .....	107
5.4.2.3 Terminaux mobiles .....	107
5.4.3 Services et applications .....	109
5.4.4 Caractéristiques spécifiques du système .....	109
5.4.4.1 Intégration du système .....	109
5.4.4.2 Fiabilité du système .....	109
5.4.4.3 Service paquets asymétrique .....	109
5.4.5 Site web du prestataire de service .....	110
5.4.6 Références bibliographiques .....	110
5.5 Le système mobile à satellites Globalstar .....	111
5.5.1 Description du système Globalstar .....	111
5.5.1.1 Eléments constitutifs du système .....	111
5.5.1.2 Fonctionnement du système .....	112
5.5.1.3 La constellation de satellites .....	113
5.5.1.4 Passerelles .....	113
5.5.1.5 Centre de commande des opérations au sol .....	114
5.5.1.6 Centre de commande des opérations des satellites .....	114
5.5.2 Produits de téléphonie .....	114
5.5.2.1 Téléphones mobiles Globalstar .....	114
5.5.2.2 Téléphones fixes Globalstar .....	115
5.5.2.3 Kit Globalstar pour véhicules automobiles .....	115
5.5.3 Matériels Globalstar pour données .....	115
5.5.4 Services Globalstar de transmission de données .....	115
5.5.5 Débits de données .....	117
5.5.6 L'avantage Globalstar .....	117
5.6 Inmarsat .....	118
5.6.1 Vue d'ensemble .....	118
5.6.2 Service et applications .....	118

5.6.3	Architecture du système.....	120
5.6.3.1	La constellation de satellites .....	121
5.6.3.2	Le secteur spatial.....	121
5.6.3.3	Terminaux mobiles .....	123
5.6.3.4	La STP .....	124
5.6.4	Site web.....	124
5.7	Description du système Thuraya.....	125
5.7.1	Introduction.....	125
5.7.2	Vue d'ensemble technique .....	125
5.7.2.1	Secteur spatial .....	125
5.7.2.2	Secteur terrien .....	125
5.7.3	Terminaux d'utilisateur du système Thuraya .....	127
5.7.3.1	Terminal portable.....	127
5.7.3.2	L'adaptateur SATEL .....	128
5.7.3.3	L'adaptateur de connexion véhiculaire (VDA, <i>vehicular docking adapter</i> ).....	128
5.7.4	L'interface hertzienne Thuraya .....	128
5.7.5	Homologation des terminaux .....	128
5.7.5.1	Certification du Mémorandum d'accord de l'UIT sur les GMPCS .....	128
5.7.5.2	Autorisation réglementaire régionale.....	128
5.7.6	Spectre de fréquences .....	129
5.7.7	Services Thuraya.....	129
5.7.8	Zone de couverture .....	130
5.7.9	Prestataires de service du système Thuraya.....	130
5.7.10	Accords d'itinérance.....	130
5.7.11	Contacts.....	130
5.8	Le système hertzien mondial FAISAT™ .....	131
5.8.1	Introduction.....	131
5.8.2	Vue d'ensemble du système .....	131
5.8.2.1	Principe d'exploitation .....	132
5.8.2.2	Plan de fréquences .....	132
5.8.2.3	Fonctionnement des satellites et du secteur terrien.....	133
5.8.2.4	Capacité de messagerie .....	133
5.8.2.5	Applications commerciales .....	133

5.8.3	Description des éléments .....	134
5.8.3.1	Secteur spatial .....	134
5.8.3.2	Le secteur terrien du système FAISAT .....	134
5.8.3.3	Le secteur terrien des PSN .....	134
5.8.3.4	Secteur des utilisateurs .....	134
5.8.3.5	Secteur lancement .....	135
5.8.4	Résumé .....	135
5.9	Communications mondiales par le réseau New ICO .....	136
5.9.1	Introduction et objet .....	136
5.9.2	Caractéristiques techniques du réseau New ICO (NIN, <i>New ICO network</i> ) .....	136
5.9.2.1	Secteur spatial .....	137
5.9.2.2	Secteur terrien .....	139
5.9.2.3	Le réseau ICONET .....	140
5.9.2.4	Interfonctionnement .....	141
5.9.2.5	Intégration des systèmes .....	142
5.9.2.6	Capacité du réseau .....	142
5.9.3	Description des produits et services de New ICO .....	142
5.9.3.1	Service mobile avec téléphone de poche .....	142
5.9.3.2	Service mobile .....	142
5.9.3.3	Service fixe .....	143
5.9.3.4	Services de messagerie bilatéraux .....	143
5.9.3.5	Services mobiles type IP .....	143
5.9.4	Questions relatives au spectre radioélectrique .....	143
5.9.4.1	Besoins du système New ICO en matière de spectre .....	143
5.9.5	Conclusion .....	144
5.10	Système mobile européen à satellite (EMSAT) .....	145
5.10.1	Vue d'ensemble .....	145
5.10.2	Architecture du système .....	145
5.10.3	Le secteur spatial .....	145
5.10.4	La station terrienne .....	148
5.10.5	Terminaux mobiles .....	148
5.10.6	Applications .....	149



## CHAPITRE 1

# INTRODUCTION DU MANUEL SUR LE SERVICE MOBILE PAR SATELLITE

### 1.1 Vue d'ensemble du Manuel

#### 1.1.1 Objet du Manuel

Le présent Manuel consacré au service mobile par satellite (SMS) a pour objet de présenter et d'étudier succinctement ce service. Il s'adresse en premier lieu à des lecteurs qui n'ont qu'une connaissance limitée des possibilités du service en question, ou des caractéristiques des systèmes et de la conception de ce service de télécommunication par satellite. Mais il pourra aussi servir d'ouvrage de référence utile aux usagers et aux prestataires dudit service, ainsi qu'aux organismes de réglementation nationaux; ceux-ci y trouveront en effet de nombreux renseignements et références à d'autres textes de l'UIT, à d'autres documentations techniques générales et à des sites web.

#### 1.1.2 Composition du Manuel

Le Manuel se compose de cinq chapitres:

Chapitre 1 – Introduction

Chapitre 2 – Attribution des fréquences et aspects réglementaires

Chapitre 3 – Applications types et applications potentielles des communications dans le SMS

Chapitre 4 – Aspects techniques des systèmes du SMS

Chapitre 5 – Caractéristiques techniques et d'exploitation de quelques systèmes du SMS existants ou en projet

### 1.2 Historique de l'évolution des réseaux du SMS

L'histoire du SMS est presque aussi longue que celle des télécommunications par satellite elles-mêmes. En 1963-64, la NASA a lancé SYNCOM II et SYNCOM III, premiers satellites de télécommunication géosynchrones/géostationnaires. SYNCOM I, prédécesseur de SYNCOM II/III, explosa au moment de la mise à feu de son moteur d'apogée; SYNCOM II fut placé sur une orbite à l'altitude de 36 000 km avec une période de 24 h, mais le plan orbital était un plan très incliné. SYNCOM III était un vrai satellite géostationnaire: son orbite 24 h était presque parfaitement équatoriale, c'est-à-dire que le plan orbital avait une inclinaison nulle.

En matière technique, ces satellites SYNCOM étaient utilisés essentiellement pour le service fixe par satellite (SFS), c'est-à-dire pour acheminer des communications à partir de stations terriennes fixes réparties entre plusieurs points de la surface terrestre. Toutefois, une de ces stations était placée sur une plate-forme mobile, le Kingsport, grand navire de transport de la marine des Etats-Unis d'Amérique, dont le port d'attache était Honolulu (Hawaii). Le bâtiment avait été transformé par la marine pour pouvoir emporter une antenne parabolique de 9,1 m conçue pour poursuivre les satellites SYNCOM; la parabole était protégée des effets de l'environnement marin par un radôme en dacron gonflable, l'accès à l'antenne triaxiale se faisant par l'intermédiaire d'un sas embarqué. Le terminal de navire du Kingsport était donc la première station terrienne véritablement mobile au monde; il peut aussi être considéré comme la première station terrienne du service mobile maritime. Les SYNCOM utilisaient des fréquences spéciales, autorisées par l'UIT, pour les expériences de télécommunication par satellite du système SYNCOM. Il s'agissait de fréquences voisines de 1,8 GHz pour la liaison espace vers Terre (liaison descendante), et voisines de 7,3 GHz pour la liaison Terre vers espace (liaison montante).

Le projet SYNCOM a été un incontestable succès. Il a prouvé que l'orbite géostationnaire pouvait être utilisée pour les télécommunications par satellite. Malheureusement – en raison peut-être des grandes dimensions de l'antenne qui équipait la station terrienne du Kingsport – de nombreux experts, dans les années 60, ont jugé que les communications *mobiles par satellite* en mer – ou service mobile maritime par satellite (SMMS) – ne seraient jamais vraiment réalisables. Il fallut attendre le milieu de la décennie 1970 pour voir poser les fondements d'un système SMS de portée véritablement mondiale, avec le lancement des trois satellites Marisat (1976). Ces engins furent lancés par la COMSAT/Comsat General Corporation, le premier étant un système pilote basé aux Etats-Unis d'Amérique pour la fourniture de services mobiles maritimes par satellite; les suivants constituèrent la base du système exploité par l'Organisation internationale des télécommunications maritimes par satellite (Inmarsat), dont le siège est à Londres (Royaume-Uni).

Marisat, qui était également un satellite géostationnaire, contenait une charge utile mixte: un répéteur émettant vers des terminaux embarqués à bord de bâtiments de la marine des Etats-Unis d'Amérique et fonctionnant dans une bande d'ondes décimétriques utilisée par le gouvernement de ce pays, et un autre répéteur émettant vers des navires marchands civils qui utilisaient des fréquences attribuées depuis peu au SMMS, dans les bandes 1,5/1,6 GHz (la bande inférieure, celle des 1,5 GHz, était utilisée sur les liaisons de service espace vers Terre).

Le répéteur 1,5/1,6 GHz de ce premier satellite commercial du SMMS était équipé d'un amplificateur à tube à ondes progressives (ATOP) capable de fonctionner à deux ou trois niveaux de puissance différents. De ce fait, Marisat a pu fonctionner, en début de vie (BOL, *beginning of life*) avec la plus grande partie de la puissance en courant continu fournie par les panneaux solaires du satellite et destinée à alimenter la charge utile installée sur le navire de la US Navy. Toutefois, avec l'augmentation du trafic dans le SMMS et la mise en oeuvre par la marine de son propre système à satellites, on a fini par faire fonctionner l'ATOP au niveau de puissance le plus élevé, ce qui a permis d'obtenir une plus grande capacité en voies dans le SMMS. La réussite de ce programme a été totale: avec les trois satellites Marisat que la COMSAT a loués à Inmarsat, à quoi se sont ajoutées par la suite une capacité louée sur le satellite expérimental Marecs de l'Agence spatiale européenne (ESA) et des charges utiles en bande L sur un satellite Intelsat-V, on a obtenu le premier système véritablement mondial du service SMS, exploité sous l'égide d'Inmarsat.

Inmarsat se développant, l'organisation abandonna les satellites Marisat et Marecs pour se tourner vers des charges utiles SMS de plusieurs satellites Intelsat-V, à bord desquels elle utilisa en partage la puissance et d'autres ressources (années 80). Par la suite, elle lança ses propres satellites spécialisés Inmarsat-II (1990-1992) et Inmarsat-III (1995), qui assuraient non seulement des services mobiles maritimes et aéronautiques par satellite mais également des services mobiles terrestres par satellite (SMTS).

Parallèlement à l'évolution qui vient d'être décrite, l'UIT redéfinissait et élargissait le spectre attribué au SMS dans les bandes 1-3 GHz, en commençant par une attribution de fréquences de 15 MHz seulement: 7,5 MHz pour le SMMS et 7,5 MHz pour le service mobile aéronautique par satellite (SMAS) dans les bandes 1,5/1,6 GHz, à la CAMR-71. Par la suite, l'UIT porta à 34 MHz ces attributions de fréquences au SMS dans les bandes en question, en 1987, 1992, 1995 et 1997 (dans les bandes attribuées aux liaisons montantes et descendantes): 14 MHz dans chaque sens pour le SMMS; plus 5 MHz pour les services SMMS/SMTS; 10 MHz dans chaque sens pour le service mobile aéronautique par satellite le long des routes (SMA(R)S); et 4 MHz dans chaque sens pour les SMTS; plus une attribution de 1 MHz dans chaque sens réservée aux communications de détresse et de sécurité. Plus récemment, l'UIT a favorisé la création d'attributions *génériques* au SMS, pouvant être utilisées par les services mobiles maritime, aéronautique ou terrestre par satellite.

Ces dernières années, l'UIT a augmenté la largeur de spectre attribuée au SMS, ou fait de nouvelles attributions à ce service dans les bandes 1-3 GHz: élargissement de la bande L et addition des bandes 1,9/2,1 GHz, 1,6/2,4 GHz et 2,5/2,6 GHz pour le SMS.

Les bandes attribuées au SMS ont aussi été exploitées pour plusieurs systèmes nationaux de ce service qui ont été développés et mis en exploitation au cours des dix dernières années environ. Par exemple, la bande 1,5/1,6 GHz a été largement utilisée par un certain nombre de systèmes nord-américains, européens et asiatiques fonctionnant dans ce service. Les systèmes nord-américains comprennent ceux de l'American Mobile Satellite Corp. (AMSC), un secteur spatial identique exploité par TMI (Canada), et le système de Solidaridad (Mexique) qui transporte une charge utile pour la bande 1,5/1,6 GHz, capable d'utiliser certaines parties du spectre 1,5/1,6 GHz attribué au SMS. La compagnie AMSC a reçu en 1989 une licence d'exploitation pour le territoire des Etats-Unis d'Amérique, au terme d'une procédure de plusieurs années au sein de la Federal Communications Commission (FCC); celle-ci a conclu qu'il faudrait fusionner en un réseau national unique plusieurs réseaux SMS concurrents proposés par un certain nombre de sociétés, la raison étant que ces systèmes étaient incapables d'utiliser en partage la bande 1,5/1,6 GHz. L'AMSC a lancé en 1995 son satellite AMSC-1 et TMI a lancé en 1996 son satellite «jumeau» (capable d'«épauler» AMSC-1). Comme exemples de systèmes européens, citons les satellites Marecs de l'ESA et les Italsat de l'Italie; du côté asiatique, le système Aussat de l'Australie et Volna de la Fédération de Russie comme réseaux du SMS. Plus récemment, on a mis en place des réseaux dits «super OSG», par exemple AceS Garuda et Thuraya; ces systèmes sont capables de p.i.r.e. extrêmement fortes dans la bande 1,5/1,6 GHz, à destination de terminaux portables à faible gain. Ils peuvent aussi desservir des stations terrestres mobiles, à gain plus élevé, en transmission de données et autres services.

D'autres attributions de fréquences au SMS ont été utilisées par plusieurs systèmes de ce service dans différentes régions du monde: par exemple, les bandes 1,6/2,4 GHz par Globalstar (Etats-Unis d'Amérique) et les bandes 2,5/2,6 GHz par N-STAR (Japon).

L'historique qui vient d'être fait montre que, des trois catégories du SMS, c'est le SMMS qui, pendant de nombreuses années, a reçu la plus grande largeur de spectre. Cela s'explique par la demande consécutive à l'augmentation du nombre des terminaux utilisés dans le SMMS, ainsi que par la mise en place du Système mondial de détresse et de sécurité en mer (SMDSM). La conséquence de la mise en oeuvre de ce système a été que certains types de terminaux maritimes Inmarsat pouvaient être utilisés pour satisfaire aux exigences de sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) pour les navires naviguant au-delà de la distance de couverture des stations côtières à ondes métriques, en conformité avec les dispositions de la convention SOLAS et du SMDSM.

En résumé, nous voyons que le développement de tout le secteur du SMS a été stimulé par la demande des navigateurs pour des communications maritimes par satellite vitales et fiables – notamment pour les situations de détresse ou d'urgence – et par le fait que l'UIT a mis à disposition des attributions de fréquences aux services SMMS et SMAS. C'est là qu'il faut voir, en particulier, l'élément moteur qui a impulsé la création du système Inmarsat, système du SMS qui est encore très largement utilisé de nos jours par la communauté maritime.

On trouvera ci-après un résumé chronologique qui donne les grandes étapes du développement du SMS en général, et de l'évolution d'Inmarsat en particulier:

- 1962-1964* Premier lancement, par la NASA, d'un satellite de télécommunication géosynchrone/géostationnaire, SYNCOM II/III. Ce lancement a clairement démontré la possibilité de réaliser un trajet de communication en visibilité directe de haute qualité, depuis un navire quelconque et à destination des continents, par l'intermédiaire du répéteur d'un satellite. Mais il apparut que le coût serait excessif pour un seul pays et qu'il fallait mettre en place une coopération internationale si l'on voulait implanter, à l'échelle mondiale, des services mobiles par satellite.
- 1964* Création d'Intelsat (Organisation internationale des télécommunications par satellites), pour la fourniture d'un service de téléphonie intercontinentale. La communauté maritime considère cette organisation comme un modèle possible.
- 1966* L'organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime (OMCI) commence à étudier l'utilisation de satellites pour améliorer les communications maritimes.
- 1971* La CAMR-71 attribue des fréquences des bandes 1,5/1,6 GHz aux services mobiles par satellite: 7,5 MHz au service mobile maritime par satellite et 7,5 MHz au service mobile aéronautique par satellite.
- 1973* L'OMCI convoque une conférence internationale pour étudier la création d'une organisation internationale qui serait chargée de gérer les télécommunications maritimes par satellite.
- 1975-1976* Réunion, à Londres, de la Conférence internationale chargée de mettre en place un système international de télécommunications maritimes par satellite. La conférence établit la structure internationale d'Inmarsat. En 1976, la Convention et les accords d'exploitation d'Inmarsat sont finalisés et ouverts à la signature des Etats désireux de participer.
- 1976* Lancement, par les Etats-Unis d'Amérique, de trois satellites Marisat, qui sont positionnés respectivement au-dessus des océans Atlantique, Pacifique et Indien. Ces engins emportent des charges utiles mixtes militaire (ondes décimétriques) et commerciale (bandes 1,5/1,6 GHz).
- 1979* Entrée en vigueur, le 16 juillet, de la Convention et des accords d'exploitation d'Inmarsat. Ces textes sont signés par 29 pays.
- 1982* Inmarsat met en route l'exploitation mondiale. La Comsat General Corporation est la propriétaire et l'exploitant du système Marisat, dans lequel Inmarsat loue de la capacité de transmission.
- 1982* Location d'une capacité supplémentaire dans les satellites de l'ESA (Marecs) et d'Intelsat (bandes 1,5/1,6 GHz dans les satellites Intelsat-V), avec faisceaux de couverture mondiale: constitution des satellites de «première génération» du système mondial Inmarsat.
- 1983* Les bandes 406-406,1 MHz sont réservées aux radiobalises de localisation des sinistres (RLS) par satellite à faible puissance.
- 1985* Le système Cospas-Sarsat est déclaré opérationnel.
- 1987* La CAMR Mob-87 attribue des fréquences des bandes 1,5/1,6 GHz au service mobile terrestre par satellite.

- 1988 Le Canada, les Etats-Unis d'Amérique, la France et l'URSS signent l'Accord de programme international Cospas-Sarsat.
- 1990-1992 Inmarsat lance ses propres satellites spécialisés de «deuxième génération» Inmarsat II, qui fonctionnent avec des p.i.r.e. plus élevées sur la liaison descendante à 1,5 GHz, mais toujours avec un faisceau de couverture mondiale.
- 1992 La CAMR-92 fait des attributions de fréquences additionnelles aux services SMMS et SMTS dans les bandes 1,5/1,6 GHz, 1,6/2,4 GHz, 2,5/2,6 GHz et 1,9/2,1 GHz; au-dessous de 1 GHz, attributions pour des systèmes «mini LEO». Proposition et notification d'un grand nombre de constellations de satellites non géostationnaires pour le SMS (IRIDIUM, etc.).
- 1995 Inmarsat lance ses propres satellites de «troisième génération» Inmarsat III: faisceaux ponctuels pointés sur les masses continentales et utilisation des fréquences attribuées au service SMTS.
- 1998 Planification de nouveaux systèmes à satellites non géostationnaires: Globalstar, ICO, Iridium et Orbcomm. Mise en service opérationnel du système IRIDIUM.
- 2000 La CMR-2000 désigne les bandes 1-3 GHz du SMS pour la composante satellite des IMT-2000.

### 1.3 Exposé sur les aspects techniques des systèmes du SMS

La communication est un sujet à caractère très général. Elle est constituée par une multiplicité de comportements, de processus et de technologies grâce auxquels une signification est transmise ou extraite à partir d'une information. On utilise ce terme pour spécifier des activités variées, par exemple: la conversation entre deux personnes; l'échange de données entre des ordinateurs; le comportement amoureux des oiseaux; l'impact émotionnel d'une oeuvre d'art; le cheminement d'une rumeur dans une société; ou le fonctionnement du réseau de sous-systèmes nerveux et métaboliques qui constituent le système immunitaire de l'organisme.

En 1928, l'écrivain et critique littéraire britannique I.A. Richards a donné la première – et jusqu'ici, la meilleure – définition de la communication, considérée comme un aspect «discret» de l'entreprise humaine:

«Il y a communication lorsqu'une intelligence agit sur son environnement d'une manière telle qu'une autre intelligence soit influencée, et que naisse dans cette autre intelligence une expérience semblable à l'expérience présente dans la première intelligence et provoquée en partie par cette expérience.»

L'intérêt pour la communication a été stimulé par les progrès scientifiques et technologiques qui, de par leur nature, ont concentré l'attention sur l'homme en tant qu'être communicant. Parmi les premières et les plus spectaculaires inventions, fruits de l'ingéniosité technique, on citera comme exemples le télégraphe et le téléphone, suivies d'autres telles que les appareils de radiocommunication et de phototélégraphie. Le développement de la presse écrite populaire, de la radiodiffusion, du cinématographe et de la télévision a débouché sur des innovations institutionnelles et culturelles qui rendirent possible la communication efficace et rapide entre quelques individus et de grands groupes humains. C'est à ces «médias» que l'on doit le développement et l'impact social d'un phénomène nouveau, celui de la communication de masse.

On voit que le phénomène communication forme un univers extrêmement large et général. A l'intérieur de cet univers général, on peut mettre en évidence un sous-ensemble plus petit, celui dans lequel la communication utilise des moyens optiques ou électromagnétiques pour transporter l'information, c'est-à-dire la télécommunication, que l'UIT définit ainsi: «*télécommunication*: toute transmission, *émission* ou réception de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toute nature, par fil, radioélectricité, optique ou autres systèmes électromagnétiques (CS).» (Règlement des radiocommunications (RR), numéro 1.3.)

A l'intérieur de l'ensemble télécommunication, on peut mettre en évidence le sous-ensemble télécommunication constitué par la télécommunication réalisée par les ondes radioélectriques, c'est-à-dire la radiocommunication, que l'UIT définit ainsi:

«*radiocommunication: Télécommunication réalisée à l'aide des ondes radioélectriques (CS) (CV).*» (RR, numéro 1.6).

Lorsque la radiocommunication est utilisée dans un but déterminé, on obtient un service de radiocommunication.

«*service de radiocommunication: service impliquant la transmission, l'émission ou la réception d'ondes radioélectriques à des fins spécifiques de télécommunication.*» (RR, numéro 1.19.)

A l'intérieur des éléments qui constituent un service de radiocommunication, on peut distinguer ce qui suit:

Le service fixe est un service de radiocommunication entre deux points fixes.

Le service mobile est un service de radiocommunication entre deux points, dont un au moins est mobile ou occupe une position non déterminée.

Le service de radiodiffusion est un service de radiocommunication entre un point fixe et un grand nombre d'autres points disséminés dans une certaine zone, tous ces points recevant la même information.

Le service de radioastronomie est un service de radiocommunication dont la fonction est de recevoir et d'analyser les signaux radioélectriques émis par les étoiles ou d'autres corps rayonnants situés dans l'espace extra-atmosphérique.

Parmi les divers services existants, nous porterons spécialement notre attention sur le service mobile:

«*service mobile: Service de radiocommunication entre stations mobiles et stations terrestres, ou entre stations mobiles (CV).*» (RR, numéro 1.24.)

Nous voyons, par conséquent, que la caractéristique d'un service mobile est la suivante: une au moins des stations qui communiquent entre elles est mobile, c'est-à-dire qu'elle peut communiquer à partir d'un emplacement indéterminé et inconnu.

Il existe plusieurs services mobiles:

Service mobile de Terre: les stations intervenant dans la communication mobile sont situées sur la surface de la Terre.

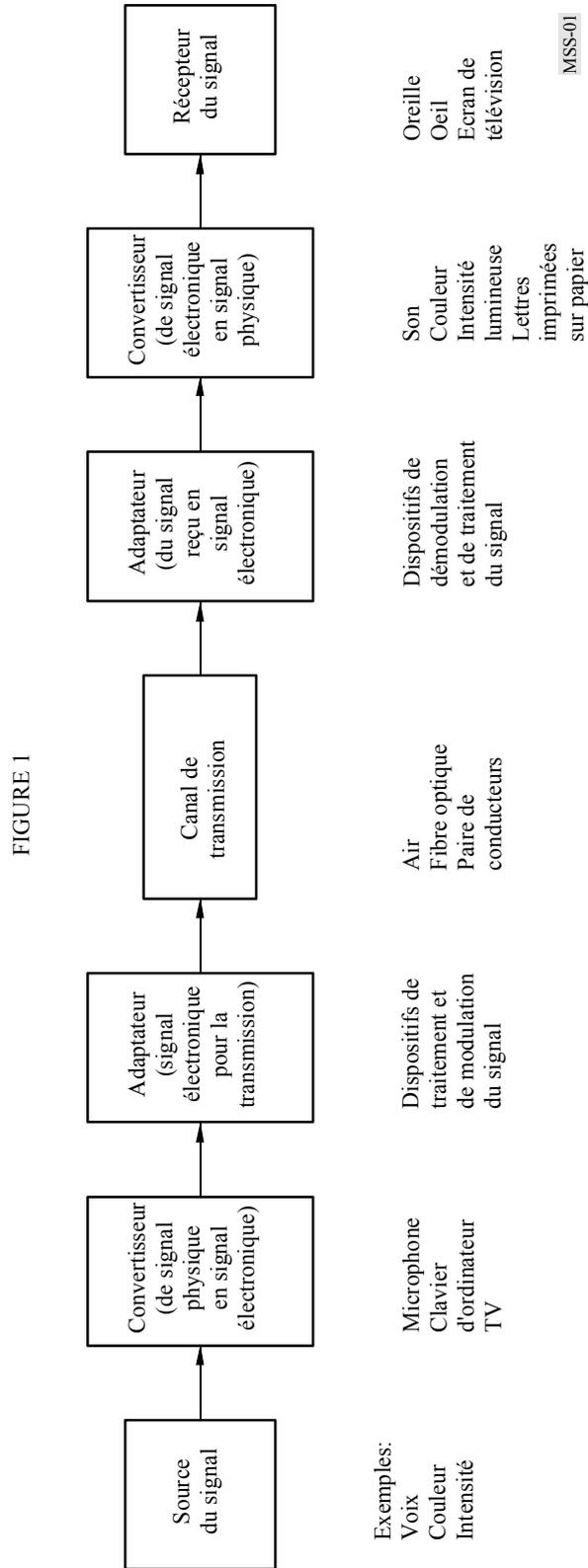
Service mobile maritime: les stations intervenant dans la communication mobile sont situées sur la surface de la Terre et une au moins de ces stations est située à bord d'un navire.

Service mobile aéronautique: les stations intervenant dans la communication mobile sont situées sur la surface de la Terre, ou au voisinage de cette surface, et une au moins de ces stations est située à bord d'un aéronef.

Service mobile par satellite: dans ce cas, une station d'un service mobile située sur la surface de la Terre communique avec un ou plusieurs satellites; ou encore: une station d'un service mobile située sur la surface de la Terre communique avec une autre station du service mobile située sur la surface de la Terre, par l'intermédiaire d'un ou de plusieurs satellites; ou encore: deux satellites communiquent l'un avec l'autre.

Le présent Manuel traite exclusivement du SMS.

La Fig. 1 montre que tout système de télécommunications de base se compose de 7 parties.



- 1 La source du signal à transmettre peut être la voix humaine, la cellule photoélectrique d'un télécopieur, le clavier d'un ordinateur, un détecteur dans une mesure physique (anémomètre ou mesureur de température), etc.
- 2 Ce convertisseur transforme le signal physique généré en un signal électrique, car les systèmes de télécommunication transmettent exclusivement des signaux électromagnétiques.
- 3 Ce système électronique intermédiaire modifie le signal électrique fourni par les étages précédents, pour l'adapter à la transmission dans le milieu extérieur, qui peut être une paire de conducteurs, une fibre optique ou une antenne qui rayonnera le signal produit.
- 4 La longueur du canal de transmission peut être égale à la longueur de la paire de conducteurs ou de la fibre optique, ou à la distance entre deux antennes (une antenne d'émission à une extrémité et une antenne de réception à l'autre extrémité).
- 5 Ce système électronique intermédiaire convertit le signal reçu en un signal électrique adéquat qui pourra être utilisé par le dispositif suivant.
- 6 Ce dispositif transforme le signal électrique fourni par les étages précédents en un signal physique: pression sonore, intensité lumineuse, couleur ou signal qui sera imprimé sur papier.
- 7 Élément ou dispositif qui reçoit l'information émise: être humain, papier sur lequel s'imprime le message, mémoire d'ordinateur ou écran vidéo.

D'autres signaux générés par les dispositifs électroniques ou par le milieu de transmission sont contenus dans l'information qu'il s'agit de transmettre. On leur donne le nom générique de bruit. Le bruit représente par conséquent toute l'information non désirée qui est mélangée à l'information utile, et qui perturbe la communication.

Les étages ou dispositifs décrits plus haut ont été étudiés de façon approfondie par les ingénieurs et les savants, le but étant d'obtenir la transmission optimale: transport de l'information d'origine depuis la source jusqu'à la destination visée, avec le moins possible de distorsion et au moindre coût. La distorsion en question peut être causée par des modifications produites dans le signal, ou du fait de la présence de bruit.

Si l'information est transmise par des ondes électromagnétiques, comme c'est le cas pour des signaux transmis entre deux antennes, on a affaire à une radiocommunication.

Le domaine de la radiocommunication est très vaste, mais il convient d'insister plus spécialement sur deux considérations fondamentales: la propagation des ondes électromagnétiques entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception, et la manière de procéder pour réduire à un minimum l'influence du bruit dans le processus de transmission.

Le milieu physique présent entre des antennes influe sur le mode de transmission de l'information entre ces antennes. Par exemple, si les deux antennes sont placées sur la surface terrestre, les caractéristiques physiques du sol et de l'atmosphère, y compris les phénomènes météorologiques, exercent des effets perceptibles sur la propagation des ondes électromagnétiques. Par ailleurs, le Soleil est une étoile brillante, il rayonne par conséquent des ondes électromagnétiques. C'est donc une source de particules ionisées qui se propagent jusqu'à la Terre et donnent naissance à un milieu ionisé formé de couches de gaz. Ce milieu influe également sur la propagation des ondes électromagnétiques. Tous ces phénomènes sont étudiés de façon approfondie.

Le cas le plus simple de transmission d'information par des ondes électromagnétiques est celui dans lequel l'antenne d'émission rayonne directement vers l'antenne de réception, en l'absence de tout obstacle sur le trajet emprunté par les ondes. C'est le cas où il y a visibilité totale entre les deux antennes. On se trouve dans cette situation lorsque les deux antennes sont placées sur la surface terrestre et qu'elles sont situées à une courte distance l'une de l'autre, compte tenu de la forme sphérique de cette surface. Quand on fait croître la distance entre les deux antennes, le trajet n'est plus un trajet en visibilité directe. Pour augmenter la longueur du trajet, on peut surélever les antennes, mais seulement dans la mesure où le coût ne devient pas prohibitif.

Dans un cas de ce genre, le problème peut être résolu par le recours à des satellites de télécommunication. Comme ces satellites gravitent à de très grandes altitudes, leur portée de communication est très supérieure à celle qu'on pourrait obtenir avec les plus hautes tours pouvant être érigées sur la surface terrestre. Considérons deux antennes installées sur la surface terrestre, à une très grande distance l'une de l'autre, sans visibilité entre elles; dans ce cas, la retransmission du signal peut être assurée par un satellite de télécommunication. Une antenne d'émission enverra le signal jusqu'au satellite, lequel retransmettra le signal jusqu'à l'antenne de réception. Ici, la condition de visibilité est satisfaisante entre l'antenne d'émission et le satellite, et entre le satellite et l'antenne de réception.

Les satellites étant placés à grande altitude au-dessus de la surface terrestre, ils ont une vaste zone de couverture, pour le plus grand bien des régions rurales et des pays très étendus. En effet, il est possible dans ces conditions d'établir des radiocommunications entre des points très éloignés les uns des autres en mettant en oeuvre un petit nombre de liaisons, d'où réduction des coûts. Le Tableau 1 donne les valeurs de la distance couverte entre deux points de la surface terrestre en fonction de l'altitude d'une antenne de satellite. En fait, la portée de transmission effective du signal d'antenne est un peu supérieure aux valeurs données dans le Tableau 1 si l'on tient compte de la réfraction dans l'atmosphère terrestre et de la diffraction le long de la surface terrestre; elle est un peu plus petite si l'on tient compte des effets de la pluie. Les valeurs indiquées sont des références. (La Fig. 2 montre les paramètres qui ont servi à établir le Tableau 1.)

FIGURE 2

$$\begin{aligned} a &= (a + h) \cos \alpha \\ \downarrow \\ \cos \alpha &= a / (a + h) \\ \downarrow \\ \alpha &= \cos^{-1} (a / (a + h)) \\ \downarrow \\ d &= a * \alpha \text{ (rad)} \\ \downarrow \\ d &= a * \cos^{-1} (a / (a + h)) \end{aligned}$$

$a$ : rayon terrestre moyen = 6 371,8 km  
 $d$ : distance entre l'antenne et l'horizon  
*Note* –  $a$  et  $h$  doivent être exprimés dans les mêmes unités.

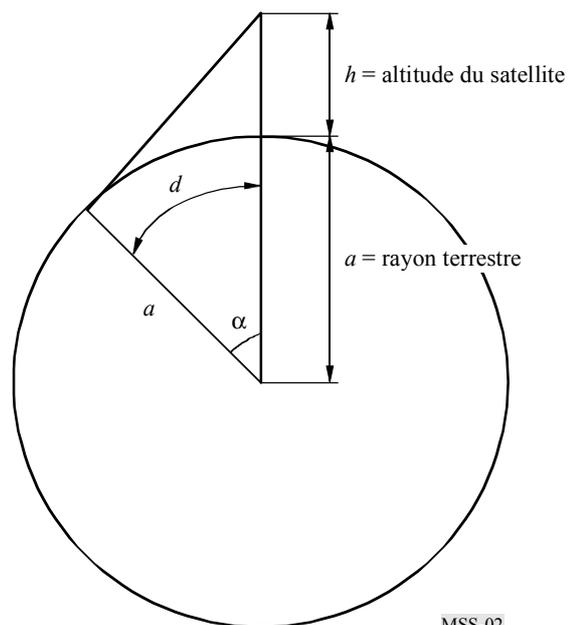


TABLEAU 1

**Relation entre l'altitude d'une antenne et la distance couverte entre deux points de la surface terrestre**

<b>Altitude de <math>h</math> (km)</b>	<b>Angle (degrés)</b>	<b>Distance <math>d</math> (km)</b>
10 <sup>(1)</sup>	3,313	368,4
30 <sup>(2)</sup>	5,549	617,1
150 <sup>(3)</sup>	12,312	136,2
780 <sup>(4)</sup>	27,008	3 003,6
2 000 <sup>(4)</sup>	40,438	4 497,1
10 000 <sup>(5)</sup>	67,095	7 461,7
35 600 <sup>(6)</sup>	81,268	9 037,8

- (1) Altitude d'un vol international.
- (2) Altitude d'un ballon stratosphérique.
- (3) Altitude d'un satellite du service d'amateur ou d'un satellite du service de recherche spatiale.
- (4) Altitude de systèmes à satellites commerciaux types (systèmes à satellites LEO).
- (5) Altitude de systèmes à satellites commerciaux types (systèmes à satellites MEO).
- (6) Altitude d'un système à satellites OSG.

Les satellites de télécommunication sont des engins qui évoluent sur des orbites autour de la Terre en application des lois de la gravité de Newton. La trajectoire d'un tel objet est une ellipse ou un cercle, selon la direction du mouvement et la vitesse du satellite au moment de son injection orbitale. Pour chaque valeur de l'altitude d'un objet évoluant sur une orbite terrestre, on a une valeur de la période de rotation qui a pour expression (voir la Fig. 3):

$$T = 165,87 \times 10^{-6} \times a^{3/2}$$

où:

$T$ : période orbitale (min)

$a$ : demi-grand axe de l'ellipse (km).

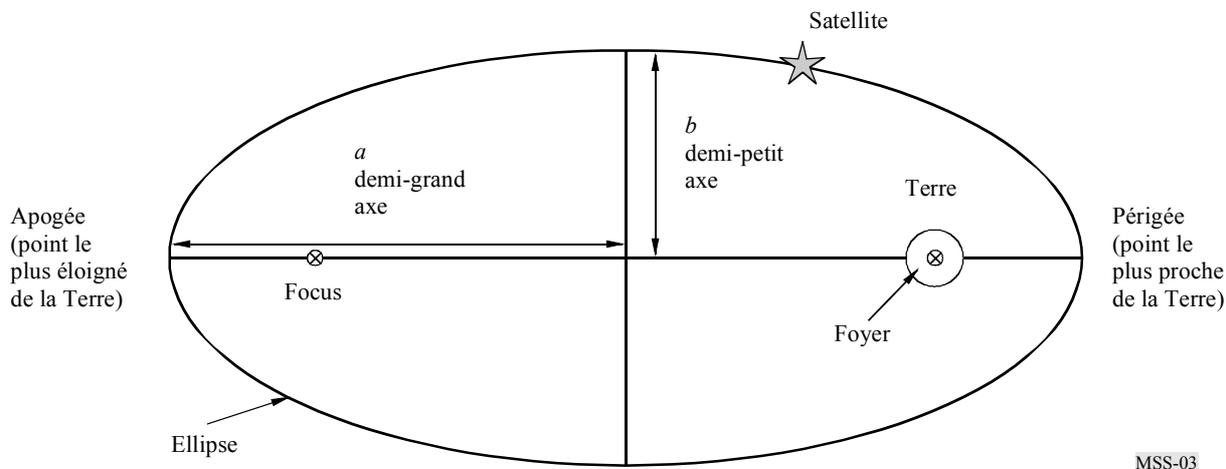
Dans le cas d'une orbite circulaire,  $a$  est la distance comprise entre le centre de la Terre et le satellite.

On observe que la période orbitale est d'autant plus grande que l'altitude du satellite est elle-même plus grande. Il existe une altitude pour laquelle la période orbitale du satellite est égale à la période de rotation de la Terre. Pour un observateur situé sur la surface terrestre, le satellite peut alors paraître immobile, ou stationnaire, dans l'espace – d'où l'appellation orbite des satellites géostationnaires (OSG).

Selon la durée de la période orbitale, on distingue deux catégories de satellites: les satellites OSG et non OSG. Les premiers éclairent toujours la même portion de surface terrestre, ce qui permet à des antennes placées sur cette surface et communiquant avec ces satellites d'être pointées toujours dans la même direction. Cela réduit le coût total des systèmes d'antenne et rend possible leur réglage manuel.

FIGURE 3

$$T(\text{min}) = 165,87 \times 10^{-6} \times a^{3/2} (\text{km})$$



Les satellites non OSG ont des vitesses différentes de la vitesse de rotation de la Terre. La portion de surface terrestre éclairée se déplace donc en même temps qu'eux, ce qui oblige à modifier continuellement la direction de pointage des systèmes d'antenne. Ceux-ci sont par conséquent plus coûteux, car on a besoin de systèmes de poursuite automatique pour les réglages en azimut et en élévation.

Par ailleurs, les satellites OSG étant plus éloignés dans l'espace que les non OSG, l'affaiblissement de propagation est plus important. Les systèmes à satellites OSG doivent donc être équipés d'antennes et d'émetteurs plus volumineux, donc plus coûteux que ceux des systèmes non OSG.

Le présent Manuel traite de divers aspects des systèmes du service mobile par satellite.

#### 1.4 Architecture générale des systèmes du SMS

Les systèmes du SMS, qu'ils soient destinés au service mobile maritime, au service mobile aéronautique ou au service mobile terrestre par satellite, possèdent tous un certain nombre de caractéristiques communes. Quant aux satellites utilisés dans ces systèmes, on peut les trouver dans des constellations qui utilisent l'orbite des satellites géostationnaires (OSG), ou des orbites terrestres elliptiques basses (LEO, *low earth orbit*) ou moyennes (MEO, *medium earth orbit*), ou même une combinaison de ces types de configuration orbitale (voir le § 1.5). Actuellement, le Règlement des radiocommunications (Article 5 du RR, Tableau d'attribution des bandes de fréquences) a tendance à spécifier la majorité des attributions au SMS – mondiales et régionales – comme étant des attributions génériques au SMS, plutôt que de distinguer les catégories particulières de ce service: mobile maritime, aéronautique ou terrestre.

### 1.4.1 Fonction des liaisons de connexion dans les réseaux du SMS

Toutefois, quelle que soit la configuration orbitale utilisée, les systèmes du SMS présentent une différence fondamentale par rapport à ceux du SFS. Le SFS utilise un seul couple de bandes de fréquences pour les liaisons par satellite reliant des points fixes. Le système du SMS utilise *deux couples* de liaisons: un couple de *liaisons de service* du SMS et un couple de *liaisons de connexion* du SMS.

Un système fonctionne de la façon suivante dans le SMS: la station (ou terminal) terrienne mobile émet vers le satellite sur la *liaison de service* (Terre vers espace), puis le satellite retransmet vers la station terrienne fixe (passerelle) sur la *liaison de connexion* (espace vers Terre). La station passerelle, de son côté, retransmet l'appel ou la transmission de données, par l'intermédiaire du réseau téléphonique public commuté (RTPC), jusqu'à l'abonné avec lequel le mobile souhaite communiquer. Cet abonné sur ligne terrestre renvoie ses signaux vocaux ou de données à la station passerelle, laquelle retransmet ces signaux au satellite par l'intermédiaire de la *liaison de connexion* (Terre vers espace). Enfin, le répéteur du satellite, utilisant la *liaison de service* (espace vers Terre), assure la retransmission en retour jusqu'au terminal mobile qui était à l'origine de l'appel.

La Fig. 4 représente l'utilisation conjointe des liaisons de connexion et des liaisons de service d'une communication par satellite dans le SMS, avec intervention d'une station passerelle et d'une station terrienne mobile.

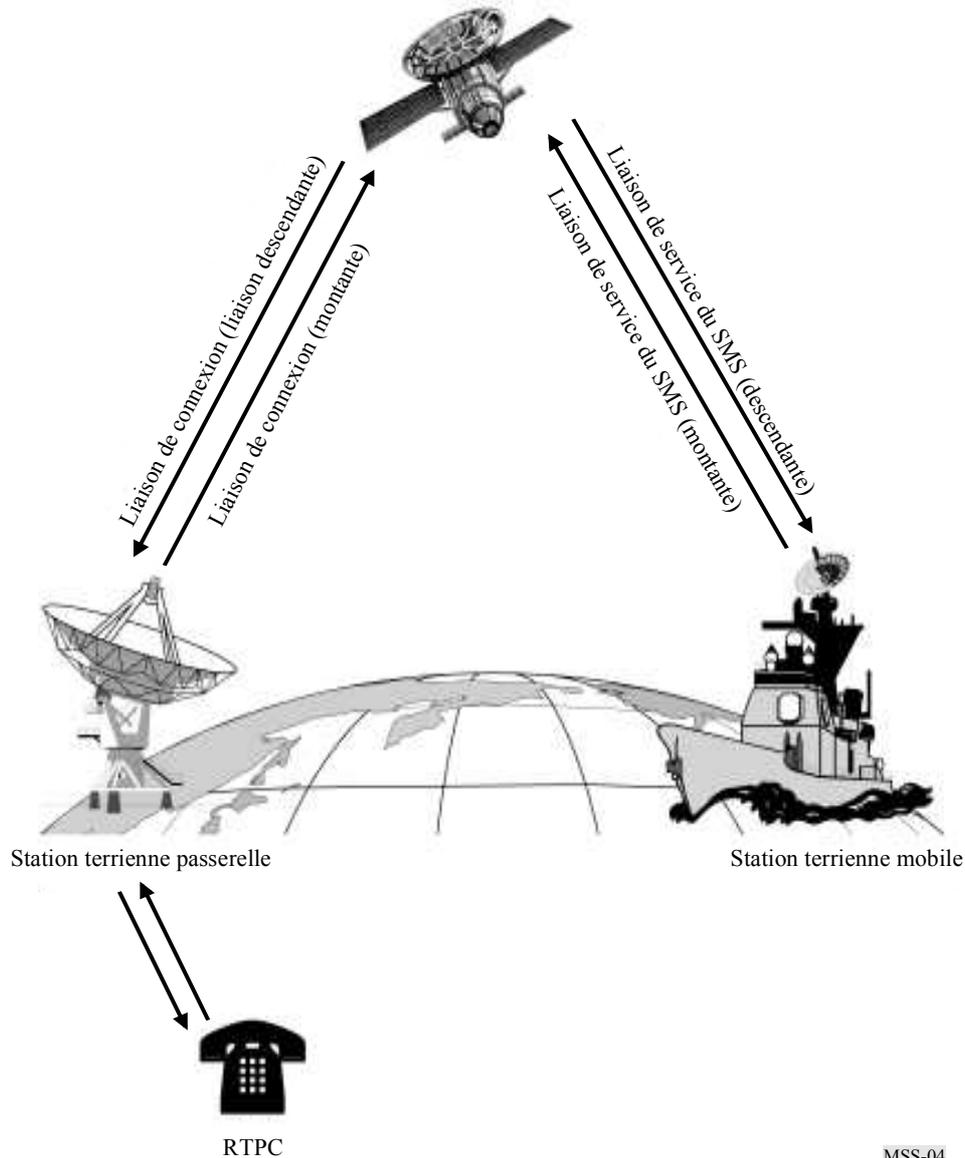
Ainsi, dans tout réseau du SMS, les liaisons de *service* relient la station (ou terminal) terrienne mobile au satellite, et les liaisons de *connexion* relient la passerelle terrestre, ou station de liaison de connexion, au satellite. Il faut deux *couples* de liaisons pour établir un circuit complet dans le SMS: la *liaison aller* (depuis la passerelle jusqu'au mobile) comprend un couple de liaisons (*une liaison de connexion + une liaison de service*) et la *liaison de retour* (depuis le mobile jusqu'à la passerelle) comprend également un couple de liaisons (*une liaison de service + une liaison de connexion*). Il arrive très souvent que les réseaux du SMS utilisent des bandes attribuées au SFS – en général, des bandes dont les fréquences sont supérieures à celles des bandes attribuées aux liaisons de service – pour la transmission sur leurs liaisons de connexion. Par exemple, un système du SMS pourrait utiliser pour ses liaisons de connexion certaines parties des bandes attribuées au SFS: 5/7 GHz, 11/12/14/15 GHz ou 19/29 GHz. Toutefois, le Règlement des radiocommunications indique que certaines bandes attribuées par l'UIT au SFS sont désignées pour l'utilisation exclusive par les liaisons de connexion du SMS pour certaines opérations.

Par exemple, le Tableau d'attribution des bandes de fréquences (Article 5 du RR) indique que la bande 5 150-5 250 MHz est attribuée à titre primaire au SFS (Terre vers espace). Toutefois, le renvoi numéro 5.447A du RR relatif à cette bande stipule ce qui suit: «L'attribution au service fixe par satellite (Terre vers espace) est limitée aux liaisons de connexion destinées aux systèmes à satellites non géostationnaires du service mobile par satellite et est subordonnée à la coordination au titre du numéro **9.11A**» (Résolution 46A). Autrement dit, cette bande est destinée à l'usage exclusif de systèmes à satellites non OSG fonctionnant dans le SMS.

Actuellement, plusieurs systèmes non géostationnaires du SMS utilisent, ou projettent d'utiliser, certaines bandes des 5 GHz attribuées au SFS (voir plus haut) et les bandes connexes des 7 GHz (6 700-7 075 MHz) destinées au SMS non OSG; parmi ces systèmes, citons Globalstar et ICO. D'autres bandes du SFS destinées aux liaisons de connexion du SMS non OSG ont été attribuées par les Conférences mondiales des radiocommunications de 1995 et 1997 (CMR-95/97) dans la bande des 15 GHz et les bandes des 19/29 GHz.

FIGURE 4

Liaisons de connexion/de service associées: liaison par satellite dans le SMS



MSS-04

On notera que l'occupation spectrale (largeur de bande) par les liaisons de service du SMS entraîne une demande de spectre équivalente dans la ou les bandes choisies pour les liaisons de connexion. Toutefois, il est possible de réduire de moitié la totalité des besoins de spectre pour les liaisons de connexion en utilisant la technique des polarisations orthogonales (polarisation circulaire *dextrogyre* ou *lévogyre*) sur ces liaisons. Cette technique, qui est applicable dans la plupart des cas, permet une double réutilisation des fréquences. Cette possibilité existe pour la transmission sur les liaisons de connexion parce que les antennes à grande ouverture utilisées dans les stations passerelles permettent d'obtenir dans tous les cas un grand effet directif et une grande pureté de polarisation. Il n'est pas possible de procéder de la même manière sur les liaisons de service du SMS: en effet, les antennes types des stations terriennes mobiles, antennes à faible gain, ne fournissent pas la pureté de polarisation nécessaire pour obtenir une isolation efficace entre des sens de polarisation opposés ou orthogonaux.

Dans la conception des systèmes du SMS, les stations terriennes passerelles ou stations terriennes de liaisons de connexion «ressemblent» à des stations terriennes normales du SFS. Ces stations sont généralement équipées d'une antenne à grande ouverture; dans le cas des réseaux non OSG, chacune d'entre elles comporte plusieurs antennes, ce qui facilite le transfert des liaisons de connexion à un autre satellite lorsque le satellite en service se couche à l'horizon. Ces stations utilisent de grandes antennes, parce que la conception des systèmes du SMS donne normalement des marges généralement assez minimes, pour les raisons suivantes: limitation de puissance des satellites et/ou très petits rapports  $G/T$  pour les stations terriennes mobiles, à quoi s'ajoutent les anomalies de la propagation. De ce fait, les concepteurs des liaisons s'efforcent d'introduire des marges importantes sur les liaisons de connexion, ce qui donne des transmissions «transparentes» (absence de fortes dégradations), faute de quoi la performance de l'ensemble liaison de connexion + liaison de service serait dégradée.

Comme indiqué plus haut, l'UIT a élargi récemment des attributions de fréquences au SMS dans les bandes des 1/3 GHz, ou a fait de nouvelles attributions dans ces bandes: élargissement des bandes 1,5/1,6 GHz, et nouvelle attribution des bandes 1,9/2,1 GHz, 1,6/2,4 GHz (bandes «super LEO») et des bandes SMS 2,5/2,6 GHz. Il faut aussi mentionner les bandes «mini LEO» (sans signaux vocaux, signaux de données seulement), plusieurs bandes étroites au-dessous de 1 GHz qui sont attribuées au SMS. Des bandes voisines de 137/138 MHz, 148/150 MHz, 399,9/401 MHz et 406 MHz ont fait l'objet récemment d'attributions mondiales au SMS.

Les terminaux mobiles utilisés de nos jours sont évidemment beaucoup moins encombrants que la parabole de 9,1 m du Kingsport. Les dimensions peuvent aller de 0,9 m pour les paraboles stabilisées qui équipent les terminaux Inmarsat-A jusqu'à des téléphones portables guère plus encombrants que des téléphones cellulaires de type courant, comme ceux utilisés dans le système SMS super LEO de Globalstar. En général, les «satellites à défilement» utilisés dans les réseaux du type non OSG du SMS desservent des antennes à faible gain, quasi équidirectives, incorporées à des terminaux portables à peine plus grands que des téléphones cellulaires classiques. Dans la généralité des cas, les systèmes OSG peuvent profiter d'une directivité d'antenne un peu plus grande, lorsque la direction du satellite est connue et/ou lorsque la plate-forme mobile peut utiliser un système de poursuite qui cale le pointage d'une antenne à gain élevé sur le faisceau principal du satellite. Il existe cependant des terminaux OSG plus simples et moins coûteux qui peuvent aussi être équipés d'antennes quasi équidirectives, par exemple le terminal Inmarsat-C pour transmission de données seulement. Cet appareil peut être installé à bord de petits navires et d'embarcations de plaisance, sans système de pointage d'antenne (qui augmente le rapport coût/poids de l'installation du terminal, etc.).

## **1.5 Types d'orbites utilisées par les systèmes du SMS: OSG, LEO et MEO**

Comme indiqué plus haut, toute configuration orbitale peut être utilisée dans les systèmes du SMS: orbites OSG, LEO ou MEO. Si l'on se reportait aux premiers temps de l'exploitation du SMS, on serait conduit à penser que l'OSG était l'orbite de choix, puisque les satellites Inmarsat et ceux de la plupart des systèmes nationaux ou régionaux étaient placés sur cette orbite. Jusqu'aux années 90, presque tous les systèmes du SMS avaient recours à l'OSG.

Pour résumer, la configuration OSG est sans aucun doute la plus simple et la moins coûteuse pour la mise en oeuvre d'un système. En effet, à l'altitude géostationnaire (environ 36 000 km au-dessus de la surface terrestre), un satellite peut voir de l'ordre d'un tiers de cette surface et est visible entre les latitudes 70° N et 70° S. Dans ces conditions, 3 ou 4 satellites permettent d'obtenir une couverture mondiale, à l'exception des latitudes extrêmes, supérieures à 70° N ou inférieures à 70° S. Il en résulte une minimalisation des coûts de lancement et du nombre des liaisons de connexion ou des stations passerelles. De plus, on simplifie le système de poursuite dans les passerelles et dans les stations terriennes mobiles semi-fixes: en effet, un satellite géostationnaire (période orbitale de 24 h, plus dans

le plan équatorial), vu d'un point quelconque de la surface terrestre, semble occuper une position fixe dans le ciel. Les inconvénients de l'orbite OSG sont l'absence de couverture aux latitudes élevées, au voisinage des pôles, et un temps de propagation assez long: environ 240 ms (valeur minimale, la valeur exacte étant fonction de la distance oblique jusqu'au satellite) pour un aller-retour (liaison montante + liaison descendante). L'avantage de cette orbite est le fait qu'il est inutile de prévoir le transfert des liaisons de connexion, car une station passerelle donnée effectue généralement la poursuite d'un même satellite dans les régions du monde qu'il dessert.

Tous les satellites du type non OSG paraissent se déplacer dans le temps par rapport à la position de toute station terrienne mobile d'utilisateur ou de toute station de liaison de connexion ou station passerelle. Ces engins spatiaux sont placés sur des orbites circulaires inclinées, à des altitudes très inférieures à celle des satellites OSG (36 000 km), généralement comprises entre plusieurs centaines et plusieurs milliers de kilomètres. Les ceintures de rayonnement de Van Allen – ceintures de rayonnement intense capté par la Terre – s'échelonnent entre 3 200 et 7 600 km d'altitude. Les orbites LEO se situent par conséquent au-dessous des ceintures de Van Allen les plus basses, l'altitude exacte de ces orbites dépendant d'un compromis entre la couverture souhaitée et d'autres facteurs qui doivent être satisfaits pour l'obtention de cette couverture: en général, l'orbite choisie détermine un chevauchement des cônes de visibilité (vu de la Terre) d'un satellite à l'altitude souhaitée. Les orbites LEO et MEO présentent un avantage par rapport aux OSG car elles permettent de réaliser une couverture aux latitudes élevées, jusqu'aux pôles. Il existe un compromis entre complexité et altitude: aux petites altitudes des orbites LEO, on a besoin d'un plus grand nombre de satellites qu'aux altitudes les plus élevées des LEO/MEO pour obtenir la couverture mondiale. Par exemple, le système IRIDIUM du SMS avec orbites LEO fonctionne avec une altitude orbitale de 780 km (période orbitale 110 min), la constellation IRIDIUM étant composée de 66 satellites. De son côté, un autre système du SMS avec orbites LEO, Globalstar, fonctionne avec une altitude orbitale de 1 400 km, mais sa constellation comprend seulement 48 satellites.

Les satellites du type MEO gravitent sur des orbites situées à des altitudes inférieures à celles des OSG, mais supérieures à celle des LEO. L'altitude des orbites MEO est supérieure à celle de la ceinture de rayonnement de Van Allen la plus élevée (au-dessus de 7 600 km environ). Comme exemple d'un système MEO du SMS, citons le système ICO, dont les orbites se trouveront à l'altitude 10 388 km (période orbitale 6 h). Ce système du type MEO est conçu pour fournir une couverture mondiale complète avec seulement 12 satellites. La Fig. 5 donne des exemples de configurations orbitales.

## 1.6 Conclusion

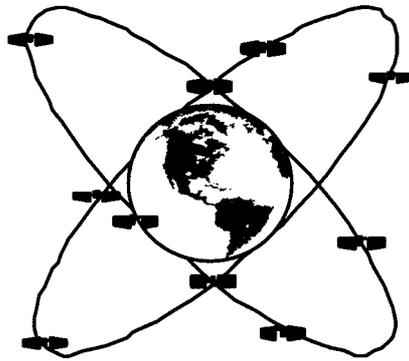
Dans cette introduction, on a fait un tour d'horizon préliminaire, très général, du problème des télécommunications mobiles par satellite. Dans les trois chapitres qui suivent, le lecteur trouvera des informations supplémentaires, plus détaillées, donnant beaucoup plus de précisions sur la configuration des systèmes du SMS – y compris ceux qui sont en exploitation au moment où ces lignes sont écrites – sur les types de services pouvant être fournis par ces systèmes et sur les problèmes que l'on peut rencontrer dans la pratique (brouillages, gestion du spectre, réglementation et exploitation), qu'il s'agisse des utilisateurs ou des fournisseurs de ces systèmes du SMS. Un certain nombre de paragraphes traiteront plus en profondeur de questions telles que l'architecture des systèmes, les types de répéteurs de satellite, les types de terminaux disponibles pour le SMS, les avantages et les inconvénients des différentes configurations orbitales, etc.

FIGURE 5  
Exemples de types d'orbite

OSG  
Altitude: 36 000 km



MEO  
Altitude: 10 000 km  
Exemple de constellation: 10 satellites dans 2 plans orbitaux



LEO  
Altitude: 1 400 km  
Exemple de constellation: 48 satellites dans 8 plans orbitaux



LEO  
Altitude: 780 km  
Exemple de constellation: 66 satellites dans 6 plans orbitaux



## CHAPITRE 2

### ATTRIBUTION DES BANDES DE FRÉQUENCES ET ASPECTS RÉGLEMENTAIRES (SELON LE RÈGLEMENT DES RADIOCOMMUNICATIONS DE L'UIT)

#### 2.1 Définitions générales afférentes aux SMS – Terminologie

Il est important de connaître les définitions générales se rapportant au SMS, ainsi que les termes généraux y afférents. On trouvera ci-après quelques définitions et explications pertinentes de quelques-uns des termes les plus importants en la matière, repris de l'Article 1 du RR:

«1.25 *service mobile par satellite: Service de radiocommunication:*

- entre des *stations terriennes mobiles* et une ou plusieurs *stations spatiales*, ou entre des *stations spatiales* utilisées par ce service; ou
- entre des *stations terriennes mobiles*, par l'intermédiaire d'une ou plusieurs *stations spatiales*.

Ce service peut en outre comprendre les *liaisons de connexion* nécessaires à son exploitation.

1.27 *service mobile terrestre par satellite: Service mobile par satellite* dans lequel les *stations terriennes mobiles* sont situées à terre.

1.29 *service mobile maritime par satellite: Service mobile par satellite* dans lequel les *stations terriennes mobiles* sont situées à bord de navires; les *stations d'engin de sauvetage* et les *stations de radiobalise de localisation des sinistres* peuvent également participer à ce service.

1.35 *service mobile aéronautique par satellite: Service mobile par satellite* dans lequel les *stations terriennes mobiles* sont situées à bord d'aéronefs; les *stations d'engin de sauvetage* et les *stations de radiobalise de localisation des sinistres* peuvent également participer à ce service.

1.36 *service mobile aéronautique (R)\* par satellite: Service mobile aéronautique par satellite*, réservé aux communications relatives à la sécurité et à la régularité des vols, principalement le long des routes nationales ou internationales de l'aviation civile.

1.37 *service mobile aéronautique (OR)\* par satellite: Service mobile aéronautique par satellite* destiné à assurer les communications, y compris celles relatives à la coordination des vols, principalement hors des routes nationales ou internationales de l'aviation civile.

1.41 *service de radiorepérage par satellite: Service de radiocommunication* aux fins de *radiorepérage* et impliquant l'utilisation d'une ou plusieurs stations spatiales.

1.59 *service de sécurité: Tout service de radiocommunication* exploité de façon permanente ou temporaire pour assurer la sécurité de la vie humaine et la sauvegarde des biens.

- 1.63** *station terrienne*: Station située soit sur la surface de la Terre, soit dans la partie principale de l'atmosphère terrestre, et destinée à communiquer:
- avec une ou plusieurs *stations spatiales*; ou
  - avec une ou plusieurs *stations* de même nature, à l'aide d'un ou plusieurs *satellites réflecteurs* ou autres objets spatiaux.
- 1.64** *station spatiale*: Station située sur un objet qui se trouve, est destiné à aller, ou est allé, au-delà de la partie principale de l'atmosphère terrestre.
- 1.68** *station terrienne mobile*: Station terrienne du service mobile par satellite destinée à être utilisée lorsqu'elle est en mouvement ou pendant des haltes en des points non déterminés.
- 1.70** *station terrienne terrestre*: Station terrienne du service fixe par satellite ou dans certains cas du service mobile par satellite, située en un point déterminé du sol ou à l'intérieur d'une zone déterminée au sol et destinée à assurer la *liaison de connexion* du service mobile par satellite.
- 1.76** *station terrienne côtière*: Station terrienne du service fixe par satellite ou dans certains cas du service mobile maritime par satellite, située en un point déterminé du sol et destinée à assurer la *liaison de connexion* du service mobile maritime par satellite.
- 1.78** *station terrienne de navire*: Station terrienne mobile du service mobile maritime par satellite installée à bord d'un navire.
- 1.82** *station terrienne aéronautique*: Station terrienne du service fixe par satellite, ou, dans certains cas, du service mobile aéronautique par satellite, située en un point déterminé du sol, et destinée à assurer la *liaison de connexion* du service mobile aéronautique par satellite.
- 1.94** *radiobalise de localisation des sinistres par satellite*: Station terrienne du service mobile par satellite dont les *émissions* sont destinées à faciliter les opérations de recherche et de sauvetage.
- 1.112** *réseau à satellite*: Système à satellites ou partie d'un système à satellites, composé d'un seul satellite et des stations terriennes associées.
- 1.113** *liaison par satellite*: Liaison radioélectrique entre une station terrienne émettrice et une station terrienne réceptrice par l'intermédiaire d'un satellite.

Une liaison par satellite comprend une liaison montante et une liaison descendante.»

## **2.2 Bandes de fréquences attribuées au SMS (Article 5 du RR)**

On trouvera ici, énumérées dans deux Tableaux, les bandes de fréquences le plus couramment utilisées dans le SMS. Le Tableau 2 donne la liste des bandes attribuées actuellement par l'UIT au SMS au-dessous de 1 GHz. Ces bandes sont utilisées par les systèmes «mini LEO» du SMS; il s'agit spécifiquement de réseaux à satellite du type non OSG assurant la transmission de données numériques seulement (à l'exclusion de signaux vocaux), les paquets étant transmis à des débits binaires compris entre 2,8 et 19,2 kbit/s environ. Le Tableau 3 énumère toutes les bandes attribuées actuellement par l'UIT au SMS entre 1 et 3 GHz: bandes utilisées par les systèmes nationaux et internationaux du SMS du type OSG et par les réseaux non OSG du type «super LEO». Ces systèmes permettent la transmission de signaux vocaux et de données à des débits pouvant atteindre – actuellement – environ 144 kbit/s. Ces deux Tableaux ont été établis sur la base du Tableau international d'attribution des bandes de fréquences (Article 5 du RR).

## 2.2.1 Bandes de fréquences attribuées au SMS au-dessous de 1 GHz

TABLEAU 2  
Attributions au SMS au-dessous de 1 GHz

Bande de fréquences (MHz)	Région	Dispositions applicables <sup>(1)</sup>	Type d'attribution
137-137,025 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
137,025-137,175 (e-T)	1 2 3	–	Secondaire
137,175-137,825 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
137,825-138 (e-T)	1 2 3	–	Secondaire
148-149,9 (T-e)	1 2 3	–	Primaire
149,9-150,05 (T-e)	1 2 3	numéro 5.224A du RR	Primaire
235-322 (T-e) (e-T)	1 2 3	numéro 5.254 du RR	numéro 9.21 du RR
312-315 (T-e)	1 2 3	numéro 5.254 du RR	Secondaire
335,4-399,9 (T-e) (e-T)	1 2 3	numéro 5.254 du RR	numéro 9.21 du RR
387-390 (e-T)	1 2 3	numéro 5.254 du RR	Secondaire
399,9-400,05 (T-e)	1 2 3	numéro 5.224A du RR	Primaire
400,15-401 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
406-406,1 (T-e)	1 2 3	numéro 5.266 du RR	Primaire
454-455 (T-e)	Pays indiqués dans les numéros 5.286D et 5.286E du RR	–	Primaire
455-456 (T-e)	2 et pays indiqués dans le numéro 5.286E du RR	–	Primaire
459-460 (T-e)	2	–	Primaire
608-614 <sup>(2)</sup> (T-e)	2	–	Secondaire
806-890 (T-e) (e-T)	2 (exceptions voir le numéro 5.317 du RR)	numéro 5.317 du RR	Primaire/ numéro 9.21 du RR
806-840 <sup>(2)</sup> (T-e)	Pays indiqués dans le numéro 5.319 du RR	numéro 5.319 du RR	–
856-890 <sup>(2)</sup> (e-T)	Pays indiqués dans le numéro 5.319 du RR	numéro 5.319 du RR	–
806-890 <sup>(3)</sup> (T-e) (e-T)	3	numéro 5.320 du RR	Primaire/ numéro 9.21 du RR
942-960 <sup>(3)</sup> (T-e) (e-T)	3	numéro 5.320 du RR	Primaire/ numéro 9.21 du RR

(1) Les dispositions indiquées dans les Tableaux 2 et 3 concernent exclusivement les bandes de fréquences attribuées au SMS. Elles ne tiennent pas compte nécessairement de la protection d'autres services fonctionnant conformément aux indications du Tableau d'attribution des bandes de fréquences (Article 5 du RR) ni des contraintes d'exploitation imposées au service mobile par satellite.

(2) Sauf le SMAS.

(3) Sauf le SMAS(R).

## 2.2.2 Bandes de fréquences attribuées au SMS entre 1 et 3 GHz

TABLEAU 3  
Attributions au SMS entre 1 et 3 GHz

Bande de fréquences (MHz)	Région	Dispositions applicables <sup>(1)</sup>	Type d'attribution
1 492-1 525 (e-T)	2	–	Primaire
1 525-1 530 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
1 530-1 535 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
1 535-1 559 (e-T)	1 2 3	numéro 5.356 du RR	Primaire
1 610-1 610,6 (T-e)	1 2 3	numéro 5.367 du RR	Primaire
1 610,6-1 613,8 (T-e)	1 2 3	numéro 5.367 du RR	Primaire
1 613,8-1 626,5 (T-e)	1 2 3	numéro 5.367 du RR	Primaire
1 613,8-1 626,5 (e-T)	1 2 3	numéro 5.367 du RR	Secondaire
1 626,5-1 660 (T-e)	1 2 3	numéro 5.375 du RR	Primaire
1 660-1 660,5 (T-e)	1 2 3	–	Primaire
1 675-1 690 (T-e)	2	–	Primaire
1 690-1 700 (T-e)	2	–	Primaire
1 700-1 710 (T-e)	2	–	Primaire
1 930-1 970 (T-e)	2	–	Secondaire
1 980-2 010 (T-e)	1 2 3	–	Primaire
2 010-2 025 (T-e)	2	numéros 5.389C et 5.389D du RR	Primaire
2 120-2 160 (e-T)	2	–	Secondaire
2 160-2 170 (e-T)	2	numéros 5.389C et 5.389D du RR	Primaire
2 170-2 200 (e-T)	1 2 3	numéro 5.389A du RR	Primaire
2 483,5-2 500 (e-T)	1 2 3	–	Primaire
2 500-2 520 (e-T)	1 2 3	numéro 5.414 du RR	Primaire (après le 01.01.2005)
2 500-2 535 <sup>(2)</sup> (e-T)	1 2 3	numéro 5.403 du RR	numéro 9.21 du RR (jusqu'au 01.01.2005)
2 520-2 535 <sup>(2)</sup> (e-T)	1 2 3	numéro 5.403 du RR	numéro 9.21 du RR (après le 01.01.2005)
2 515-2 535 <sup>(3)</sup> (e-T)	Pays indiqués dans le numéro 5.415A du RR	numéro 5.415A du RR	numéro 9.21 du RR
2 655-2 690 <sup>(2)</sup> (T-e)	1 2 3	numéro 5.420 du RR	numéro 9.21 du RR (jusqu'au 01.01.2005)
2 655-2 670 <sup>(2)</sup> (T-e)	1 2 3	numéro 5.420 du RR	numéro 9.21 du RR (après le 01.01.2005)
2 670-2 690 (T-e)	1 2 3	numéro 5.419 du RR	Primaire (après le 01.01.2005)
2 670-2 690 <sup>(3)</sup> (T-e)	Pays indiqués dans le numéro 5.420A du RR	numéro 5.420A du RR	numéro 9.21 du RR

(1) Les dispositions indiquées dans les Tableaux 2 et 3 concernent exclusivement les bandes de fréquences attribuées au SMS. Elles ne tiennent pas compte nécessairement de la protection d'autres services fonctionnant conformément aux indications du Tableau d'attribution des bandes de fréquences (Article 5 du RR) ni des contraintes d'exploitation imposées au SMS.

(2) Sauf le SMAS.

(3) Sauf le SMAS(R).

## **2.3 Problèmes de réglementation posés par le partage des fréquences dans les bandes attribuées au SMS**

### **2.3.1 Partage des fréquences entre réseaux du SMS**

Les bandes de fréquences attribuées au SMS (voir le § 2.2) sont utilisées par un certain nombre d'administrations pour leurs réseaux nationaux ou internationaux fonctionnant dans le SMS. Il convient de noter cependant – comme le montrent les Tableaux 2 et 3 – que le Tableau d'attribution des bandes de fréquences de l'UIT fait apparaître quelques petites différences entre les limites des bandes du SMS dans certaines régions de l'UIT et/ou même dans certains pays (indiqués généralement dans des renvois du Tableau) et les limites correspondant aux attributions générales, mondiales, au SMS, telles que spécifiées dans l'Article 5 du RR.

Néanmoins, il est courant qu'une bande de fréquences donnée soit utilisée en *partage* par un grand nombre de réseaux différents du SMS, dans une même région ou dans plusieurs régions de l'UIT. Par exemple, la bande 1,5/1,6 GHz attribuée au SMS est utilisée actuellement par plus d'une vingtaine de réseaux de ce service. Inmarsat a inauguré l'emploi de cette bande dans les années 70, suivi par les réseaux nationaux du Canada et des Etats-Unis d'Amérique. Aujourd'hui, la bande est utilisée par un très grand nombre de réseaux du SMS – non seulement par Inmarsat dans le monde, et par le Canada, les Etats-Unis d'Amérique et le Mexique en Amérique du Nord – mais encore par les administrations de nombreux pays d'Amérique du Sud, d'Europe, d'Asie, du Moyen-Orient, plus l'Australie et le Japon.

Du fait de l'utilisation simultanée de la bande 1,5/1,6 GHz, par exemple, par de nombreux réseaux du SMS, il faut s'attacher à réduire à un minimum les brouillages mutuels entre ces réseaux. Le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) a joué un rôle de premier plan dans l'élaboration de normes et de méthodes qui permettent de maintenir dans des limites tolérables les brouillages entre réseaux du SMS utilisant en partage une bande de fréquences commune. Par exemple, le numéro 9.11A du RR traite des procédures de coordination et de notification des assignations de fréquence aux réseaux à satellite dans certaines bandes du SMS.

Un grand nombre de ces principes de partage exposés dans le RR avaient été élaborés précédemment pour les réseaux du SFS, avant tout pour les réseaux OSG de ce service, au cours des deux décennies précédentes où ont été développés les réseaux mondiaux du SFS. Cependant, à mesure qu'augmentait la charge d'occupation des bandes du SMS, il a fallu appliquer des principes similaires – mais non identiques – à l'exploitation de ce service. Avec l'apparition des réseaux non OSG du SMS, l'UIT a dû, par ailleurs, modifier et actualiser les procédures de coordination et de notification, qui avaient été codifiées auparavant pour les seuls réseaux OSG du SMS.

Un des problèmes clés qui fait que le partage entre plusieurs réseaux du SMS est plus difficile que dans le SFS est le suivant: la directivité des antennes des stations terriennes mobiles (STM) est beaucoup plus petite que celle des stations terriennes classiques fixes du SFS. Le gain d'antenne d'une STM ne peut pas s'approcher de celui des stations terriennes fixes du SFS, pour la simple raison que l'ouverture de l'antenne ou le diamètre de la parabole d'une STM est très limité, en raison de sa mobilité intrinsèque, puisqu'elle est montée à bord d'un navire ou d'un aéronef, ou même portée par une personne. Il s'ensuit que l'ouverture du faisceau est beaucoup plus grande, d'où la conséquence: aptitude limitée d'une antenne du STM à faire la distinction entre d'une part, le satellite «utile» ou satellite cible avec lequel elle communique et les satellites non désirés dans des créneaux orbitaux adjacents de l'OSG.

Ainsi, il est possible de travailler avec des séparations orbitales de l'ordre de 3° pour pouvoir gérer les brouillages entre systèmes dans les bandes basses attribuées au SFS (par exemple 4/6 GHz), et même 2° dans les bandes 11/12 GHz. En revanche, pour une bande du SMS telle que 1,5/1,6 GHz, la séparation orbitale serait normalement d'environ 40° ou plus! pour obtenir le même résultat s'agissant des brouillages. Dans de nombreux cas, cette considération à elle seule oblige à recourir à la segmentation des bandes de fréquences pour les réseaux du SMS, plutôt qu'au partage des fréquences dans un même canal.

Cependant, avec l'emploi des faisceaux ponctuels à couverture étroite dans la dernière génération de systèmes du SMS, il est devenu possible de mettre en oeuvre un certain degré de réutilisation des fréquences, si l'on dispose d'un isolement suffisant entre les faisceaux de deux réseaux OSG adjacents fonctionnant dans la même portion d'une bande attribuée au SMS. La réutilisation des mêmes fréquences est possible également entre des réseaux du SMS n'assurant pas la même couverture, si les conditions s'y prêtent.

En résumé, les réseaux du SMS peuvent fonctionner avec partage des fréquences – c'est-à-dire émettre et recevoir dans le même canal radioélectrique ou dans des canaux en chevauchement – à condition que les brouillages mutuels puissent être maintenus au-dessous d'un niveau déterminé permettant de réaliser l'objectif en matière de brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante.

Il n'existe qu'un nombre limité de procédés grâce auxquels un réseau à satellite du SMS peut distinguer les signaux brouilleurs provenant d'un autre réseau à satellite du SMS, ou s'isoler suffisamment de ces signaux pour réaliser son objectif en matière de brouillage:

- utiliser la *directivité* angulaire de l'antenne de réception et/ou de l'antenne d'émission de la *station spatiale*;
- utiliser la *directivité* angulaire de l'antenne d'émission et/ou de l'antenne de réception de la *station terrienne*;
- utiliser des *polarisations opposées* dans le canal utile et dans le canal brouilleur;
- *entrelacer* ou décaler les canaux (en fréquence) pour éviter le fonctionnement intégral dans le même canal.

La mesure dans laquelle on peut avoir recours à chacun de ces quatre procédés pour obtenir, en partie ou en totalité, le degré nécessaire d'isolement entre les systèmes ou de discrimination de brouillage dépend d'un grand nombre de facteurs: dimensions et conception des antennes des stations terriennes et des stations spatiales; positions orbitales (sur l'OSG ou sur d'autres orbites) et couverture géographique des antennes des stations spatiales des deux systèmes considérés; mesure dans laquelle chacun des procédés a déjà pu être mis en oeuvre pour la réutilisation des fréquences dans les différents systèmes; coût et autres facteurs d'exploitation d'ordre pratique.

Les critères du partage entre les liaisons de service et/ou les liaisons de connexion du SMS sont définis en fonction des niveaux de brouillage maxima acceptables dans les canaux de ce service, tels que spécifiés dans les Recommandations UIT-R pertinentes et tels qu'ils ont été acceptés par les opérateurs du SMS dans leurs discussions sur la coordination entre les systèmes.

### **2.3.2 Partage des fréquences entre les réseaux du SMS et d'autres services**

Certaines des bandes de fréquences attribuées au SMS sont aussi attribuées, à titre primaire avec égalité des droits, à d'autres services, par exemple le service fixe (service «coprimaire»). Pour ces bandes, on a établi des critères de partage pour permettre aux deux services de partager les fréquences sans se causer des brouillages mutuels inacceptables. Par exemple, la Section II de l'Article 9 du RR spécifie les seuils de coordination pour le partage entre les émissions sur les trajets descendants (espace vers Terre) du SMS et le service fixe de Terre dans les bandes 1-3 GHz attribuées au SMS; idem pour les limites strictes (limites de puissance surfacique) entre les liaisons de connexion descendantes dans les réseaux non OSG et le service fixe de Terre fonctionnant dans les mêmes bandes de fréquences (7 GHz et 15 GHz).

## **2.4 Autres types de SMS spécialisé bénéficiant d'un statut spécial dans le RR**

### **2.4.1 Détresse et sécurité – Dispositions spéciales du RR**

#### **2.4.1.1 SMDSM: détresse et sécurité**

Le SMDSM est un système international qui a pour mission d'assurer la sauvegarde de la vie des gens de mer. Il a été mis en place par l'Organisation maritime internationale (OMI), institution spécialisée des Nations Unies pour les questions maritimes. Dans le cadre de ce système, les navires de certains types, quelle que soit leur position, doivent être en mesure d'émettre un message de détresse à destination d'autorités côtières de recherche et de sauvetage, avec une grande probabilité de réception de ce message. Cela étant, le SMDSM prévoit la présence de moyens perfectionnés pour la localisation des survivants, la sensibilisation des personnels navigants aux questions vitales de la sécurité en mer et l'alerte des autres navires se trouvant dans le voisinage immédiat du lieu de la détresse afin qu'ils puissent participer aux opérations de sauvetage.

#### **Dispositions spéciales du RR concernant le SMDSM**

Le RR accorde une protection et un statut spéciaux au SMDSM dans les bandes 1,5/1,6 GHz attribuées au SMS. Ce régime spécial est explicité dans des renvois se rapportant à la partie des bandes 1,5/1,6 GHz du SMS précédemment attribuée au SMMS, en particulier le numéro 5.353A du RR:

«**5.353A** Lors de l'application des procédures de la Section II de l'Article 9 au service mobile par satellite dans les bandes 1 530-1 544 MHz et 1 626,5-1 645,5 MHz, il faut satisfaire en priorité les besoins de fréquences pour les communications de détresse, d'urgence et de sécurité du Système mondial de détresse et de sécurité en mer (SMDSM). Les communications de détresse, d'urgence et de sécurité du service mobile maritime par satellite sont prioritaires et doivent bénéficier d'un accès immédiat par rapport à toutes les autres communications du service mobile par satellite à l'intérieur d'un réseau. Les systèmes du service mobile par satellite ne doivent pas causer de brouillage inacceptable aux communications de détresse, d'urgence et de sécurité du SMDSM ni demander à être protégées vis-à-vis de celles-ci. Il faut tenir compte de la priorité des communications concernant la sécurité dans les autres services mobiles par satellite. (Les dispositions de la Résolution 222 (CMR-2000) s'appliquent.)»

Le SMDSM marque une évolution importante dans les procédures des communications de sécurité en mer. Il constitue un élément de la Convention internationale SOLAS, adoptée en 1914 et considérée par tous comme le plus important de tous les traités internationaux relatifs à la sécurité des navires de commerce. Les prescriptions de cette Convention s'appliquent de façon obligatoire à tous les navires de passagers et de commerce ayant une jauge brute d'au moins 300 tonnes naviguant dans les eaux internationales. Par ailleurs, il est reconnu que le SMDSM peut venir en aide à la plupart des navires quelle que soit leur taille. Il est recommandé, par conséquent, de doter tous les navires, ainsi que les grands bateaux de plaisance, de l'équipement SMDSM adapté à la zone maritime où ils naviguent.

Le fonctionnement du SMDSM repose sur l'utilisation conjointe des radiofréquences maritimes traditionnelles (ondes hectométriques, décamétriques et métriques), de communications SMS mises à disposition par Inmarsat (créées, dans un premier temps, par l'OMI au bénéfice du SMDSM) et de services d'urgence (alerte et localisation de détresse) fournis par le système Cospas-Sarsat. L'équipement nécessaire aux navires varie selon la zone maritime où ils croisent, comme indiqué dans le Tableau ci-après. Les navires hauturiers ont besoin d'un plus grand volume d'équipement de communication que les bâtiments qui restent à portée des installations radioélectriques côtières.

<p><b>Zone A1</b> A portée des stations côtières à ondes métriques, avec alerte disponible par appel sélectif numérique (ASN) continu (environ 30-50 km)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– équipement à ondes métriques</li> <li>– RLS par satellite (Cospas-Sarsat ou Inmarsat) ou à ondes métriques</li> </ul>
<p><b>Zone A2</b> Au-delà de la zone A1, mais à portée des stations côtières à ondes hectométriques, avec alerte disponible par ASN continu (environ 160 km)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– équipement à ondes métriques et hectométriques</li> <li>– RLS par satellite (Cospas-Sarsat ou Inmarsat)</li> </ul>
<p><b>Zone A3</b> Au-delà des deux premières zones, mais à l'intérieur de la couverture des satellites OSG servant aux communications maritimes (pratiquement: Inmarsat). C'est la zone qui s'étend entre environ 70° N et 70° S de latitude</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– équipement à ondes métriques et hectométriques</li> <li>– RLS par satellite (Cospas-Sarsat ou Inmarsat)</li> <li>– équipement à ondes décamétriques ou satellite</li> </ul>
<p><b>Zone A4</b> Toutes les autres zones maritimes. La plus importante de ces zones est celle constituée par les mers qui entourent le pôle Nord (la zone autour du pôle Sud est en majorité une masse continentale). Les satellites géostationnaires, positionnés au-dessus de l'équateur, ne peuvent pas atteindre cette zone</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– équipement à ondes métriques, hectométriques et décamétriques</li> <li>– RLS par satellite Cospas-Sarsat</li> </ul>

Dans les zones où n'existent pas d'installations côtières pour l'appel de sécurité en ondes métriques ou hectométriques, aux latitudes comprises entre  $\pm 70^\circ$  environ, les terminaux Inmarsat-A, B ou C peuvent être utilisés pour l'alerte de détresse et les communications générales dans le cadre du SMDSM. Un navire en détresse doté d'une station terrienne de navire (STN) de ce type bénéficierait d'un canal prioritaire qui serait mis à sa disposition pour émettre le message de détresse. Par ailleurs, les terminaux Inmarsat-C peuvent recevoir les émissions de «renseignements sur la sécurité maritime», qui comprennent les éléments suivants: alertes de détresse, information sur les opérations de recherche et sauvetage, avertissements concernant les dangers à la navigation, prévisions météorologiques et autres informations urgentes destinées aux navires. Les terminaux sont reliés à l'interface de navigation du navire, ce qui leur permet de filtrer les données diffusées qui concernent des secteurs extérieurs à la zone maritime où évolue le navire.

On notera que les radiocommunications à ondes décamétriques peuvent aussi être utilisées aux fins du SMDSM, notamment dans les régions polaires, où l'on n'est pas en position de visibilité avec l'OSG. A signaler cependant que ces liaisons sont gravement perturbées par les variations de la propagation.

Les RLS par satellite sont un autre moyen de transmission des alertes de détresse dans le SMDSM. On trouvera une description détaillée de ces terminaux dans le § 4.2.3. En bref, les RLS sont des systèmes de communication de données capables de remplir une fonction d'alerte de détresse dans une ou plusieurs des opérations suivantes:

- déclenchement manuel à partir de la position sur la passerelle d'un navire;
- déclenchement automatique après le contact avec la surface de la mer en cas de naufrage soudain d'un navire;
- déclenchement manuel à partir du terminal au point d'installation ou après le transfert du terminal du navire à l'embarcation de sauvetage.

La RLS peut aussi être dotée d'un émetteur de radioralliement auxiliaire qui facilite la localisation par les services de recherche et de sauvetage.

#### 2.4.1.2 Sécurité dans le SMS aéronautique

Les télécommunications aéronautiques par satellite peuvent jouer un rôle important dans les systèmes de gestion du trafic aérien (ATM: *air traffic management*) pour faire en sorte qu'un avion parvienne à sa destination en toute sécurité et dans de bonnes conditions d'efficacité, et pour fournir des services d'alerte et de localisation dans le cas d'accidents aériens.

S'agissant de la fonction ATM, celle-ci doit accomplir trois tâches fondamentales: communication, navigation et surveillance (CNS):

- la communication est l'échange d'informations vocales et de données, par exemple les autorisations ou les instructions courantes, entre les pilotes et les contrôleurs de la circulation aérienne;
- la navigation est l'opération qui consiste à donner aux pilotes des renseignements sur la position de l'aéronef;
- la surveillance est le processus de détection de cette position par le contrôle de la circulation aérienne.

Jusqu'à une époque récente, le seul moyen de communication entre les pilotes et le contrôle était le signal vocal transmis dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques. Les fréquences des bandes métriques sont utilisées dans les conditions de la «visibilité directe», par exemple lorsqu'un aéronef se trouve dans l'espace aérien national. Quant aux fréquences des bandes décamétriques, on y a recours pour les communications «au-delà de l'horizon», par exemple si l'aéronef se trouve dans un espace aérien océanique ou un espace aérien continental éloigné.

Pour pallier les effets de radiocommunications manquant de fiabilité ou de l'absence de couverture radar, les systèmes ATM assuraient la sécurité par de grandes distances de séparation entre les aéronefs, mais l'inconvénient de ce mode d'exploitation était son manque relatif de souplesse. Souvent, les pilotes étaient incapables d'établir des contacts fiables avec le contrôle de la circulation aérienne pour pouvoir s'écarter des zones d'intempérie ou tirer parti de renseignements nouveaux sur les conditions météorologiques. Il en résultait des retards à l'arrivée des aéronefs, une exploitation inefficace et une augmentation des dépenses de carburant, à quoi s'ajoutaient les conséquences d'une demande accrue de trafic sur les routes aériennes très fréquentées.

Pour remédier aux inconvénients des radiocommunications sur ondes décamétriques et métriques, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), institution spécialisée des Nations Unies, a encouragé le développement de communications par satellite avec les aéronefs. Cette initiative a conduit à la mise en place du SMAS, dans lequel les stations terriennes mobiles sont installées à bord des aéronefs. A l'intérieur du SMAS, une application importante est celle des communications «le long des routes», correspondant au service SMA(R)S, pour la sécurité et la régularité des vols, principalement le long des routes nationales ou internationales de l'aviation civile.

Un certain nombre d'applications du SMA(R)S ont été développées afin de valoriser les fonctions de communication, navigation et surveillance de CNS des systèmes ATM (CNS/ATM). Ces applications nécessitent un haut niveau de disponibilité, de performance et d'intégrité, défini à l'échelon international dans les normes et les pratiques recommandées (SARP) de l'OACI et à l'échelon régional par des normes telles que les normes de qualité minimale (*minimum operational performance standards*) de la *Radio Telecommunication Association* (RTCA-MOPS).

## **Dispositions spéciales du RR pour le service SMA(R)S**

Le SMA(R)S bénéficie d'une protection spéciale dans les bandes 1,5/1,6 GHz attribuées au SMS, en l'occurrence dans la partie de ces bandes qui était attribuée précédemment au SMAS, cela en vertu des dispositions du numéro 5.357A du RR:

«**5.357A** Lors de l'application des procédures de la Section II de l'Article 9 au service mobile par satellite dans les bandes 1 545-1 555 MHz et 1 646,5-1 656,5 MHz, il faut satisfaire en priorité les besoins de fréquences du service mobile aéronautique par satellite (R) pour assurer la transmission de messages des catégories 1 à 6 de priorité définies dans l'Article 44. Les communications du service mobile aéronautique par satellite (R) des catégories 1 à 6 de priorité de l'Article 44 sont prioritaires et bénéficient d'un accès immédiat, par préemption si nécessaire, par rapport à toutes les autres communications du service mobile par satellite à l'intérieur d'un réseau. Les systèmes du service mobile par satellite ne doivent pas causer de brouillages inacceptables aux communications du service mobile aéronautique par satellite (R) des catégories 1 à 6 de priorité définies dans l'Article 44 ni demander à être protégées vis-à-vis d'elles. Il faut tenir compte de la priorité des communications liées à la sécurité dans les autres services mobiles par satellite. (Les dispositions de la Résolution 222 (CMR-2000) s'appliquent).»

Les principaux types d'applications du SMAS concernent soit les communications du contrôle de la circulation aérienne et de l'administration des lignes aériennes, soit les services des passagers. Ce sont les suivants:

- pour le contrôle de la circulation aérienne, les pilotes utilisent les communications aéronautiques pour les contacts avec le personnel au sol; il s'agit de communications de routine: demandes, autorisations de vol et émissions consultatives. De leur côté, les contrôleurs utilisent des communications de données aéronautiques pour surveiller et gérer la position des appareils, même au-delà de la portée radar normale;
- en ce qui concerne les services des passagers, les communications dans le SMS permettent aux clients d'avoir des conversations téléphoniques et d'envoyer des télécopies en vol. Il existe par ailleurs toute une série de services de données: achats hors taxes, réservations de places d'avion, d'hôtels et de véhicules de location, réception en temps réel de nouvelles du monde entier et d'informations financières.

En plus de la fonction ATM, les systèmes à satellites fournissent d'importants services d'alerte et de localisation de détresse. Pour ce faire, on équipe les aéronefs de balises de détresse d'urgence (également appelées émetteurs de localisation d'urgence (ELT: *emergency locator transmitters*)) qui peuvent être détectées et localisées par le système Cospas-Sarsat.

### **2.4.1.3 Fonctions de radiorepérage incorporées et intégrées**

Une méthode pour localiser la position de l'équipement d'une station terrienne du SMS consiste à mettre en oeuvre les techniques de la radiogoniométrie dans le satellite. Cette méthode permet d'estimer la position d'un terminal avec une précision de quelques kilomètres seulement, ce qui suffit, par exemple pour la facturation et pour une poursuite rudimentaire des terminaux. L'inconvénient est que la radiogoniométrie ne peut être mise en pratique que dans les systèmes du type non OSG.

Pour une détermination plus précise des positions (à 200 m près, par exemple), ou pour des systèmes ayant une architecture satellitaire différente (système OSG), l'unité de radiorepérage doit être reliée au terminal de la station terrienne pour pouvoir signaler automatiquement la position de ce terminal. Cela se fait par réception des signaux de radionavigation des systèmes GPS, GLONASS ou LORAN-C.

Il existe deux types fondamentaux d'applications où il est utile de pouvoir déterminer la position du terminal de la station terrienne mobile: les applications en rapport principalement avec la sécurité et les applications commerciales. Ces deux applications ont d'ailleurs la même fonctionnalité, en ce sens que le terminal doit s'identifier automatiquement, signaler sa position et émettre l'information de messagerie requise.

– *Applications en rapport avec la sécurité*

Des systèmes de radiopéage font partie intégrante de certains types modernes de RLS pour utilisation avec les satellites du SMS. Les RLS ont une application importante à bord des navires, où elles constituent un des moyens primordiaux d'alerte et de repérage en cas de détresse dans le SMDSM. Elles fonctionnent dans les bandes des 121,5 MHz, 406 MHz ou 1,6 GHz. Le § 4.2.3 indique les différences qui existent entre les divers types de RLS.

Une autre application de sécurité nécessite l'intégration du radiopéage dans le SMS: il s'agit ici des services aéronautiques dans le cadre du système de l'OACI de gestion du trafic aérien pour les communications, la navigation et la surveillance (CNS/ATM). Beaucoup de terminaux de stations terriennes aéronautiques fonctionnent en mode de surveillance dépendante automatique (ADS, *automatic dependent surveillance*), qui permet aux contrôleurs de la circulation aérienne d'interroger l'aéronef pour les besoins du repérage et pour la collecte d'autres informations.

## **2.5 Stations terriennes de liaison de connexion dans le SMS**

### **2.5.1 Stations terriennes de liaison de connexion – Réseaux OSG du SMS**

Les stations terriennes de liaison de connexion ont pour fonction de relier les satellites de télécommunication du service mobile à des réseaux de Terre, par exemple le RTPC. Les stations de cette catégorie qui communiquent avec des satellites OSG ont une structure de poursuite d'antenne plus simple que celles qui desservent des réseaux non OSG, la raison étant que le mouvement relatif des satellites géostationnaires est beaucoup plus restreint. D'où la possibilité d'utiliser économiquement de grandes antennes de station terrienne (10 à 15 m de diamètre), ce qui améliore les marges des liaisons.

Par ailleurs, il suffit d'une seule antenne dans ces stations terriennes (avec une antenne de réserve) pour acheminer tous les appels provenant de la zone de couverture d'un satellite OSG. Cela étant, on ajoute généralement dans le système d'autres stations terriennes de liaison de connexion, à titre de renforcement et pour assurer la présence de l'exploitation nationale dans différentes régions. Ces stations sont normalement exploitées par des «prestataires de service» qui écoulent le trafic vers les réseaux de Terre locaux et qui exploitent également les services mobiles dans la région.

### **2.5.2 Stations terriennes de liaison de connexion – Réseaux non OSG du SMS**

Les antennes de ces stations terriennes sont généralement plus petites que celles qui communiquent avec des satellites OSG pour les systèmes non OSG, cela pour deux raisons: affaiblissements de trajet plus petits et opérations de poursuite plus faciles. Les fréquences utilisées le plus souvent sur les liaisons de connexion par les systèmes «super LEO» sont prises dans les bandes 5/7 GHz ou 20/30 GHz. Des fréquences sont aussi disponibles dans la bande des 15 GHz.

La conception et l'implantation des stations terriennes de liaison de connexion dépendent des caractéristiques de la constellation de satellites considérée. Par exemple, les systèmes dotés de liaisons intersatellites ont besoin d'un plus petit nombre de stations terriennes que les autres systèmes; par ailleurs, les systèmes avec satellites sur orbites basses doivent être équipés d'un plus grand nombre de stations terriennes que ceux avec orbites terrestres moyennes. Enfin, l'implantation de ces stations terriennes doit tenir compte de l'infrastructure existante des télécommunications nationales ou régionales.

A titre d'exemple, le système à satellites ICO comportent 12 stations terriennes terrestres qui sont interconnectées par un réseau mondial en fibres optiques. Le trafic est acheminé en interne jusqu'à la station passerelle la plus proche de la destination de l'appel avant d'être dirigé sur les réseaux de Terre publics. Le système Globalstar comprend de 30 à 40 passerelles programmées sur l'ensemble du globe, le trafic étant acheminé à partir de ces passerelles directement vers les réseaux de Terre publics.

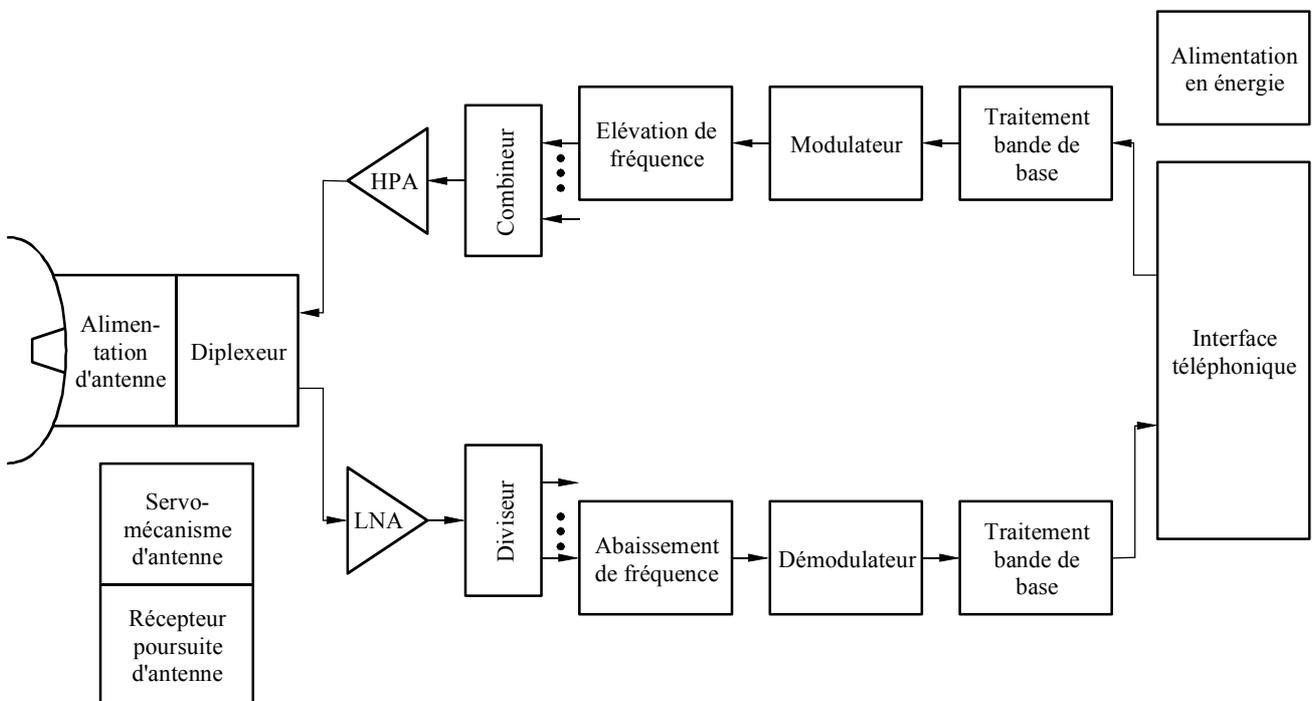
Le nombre d'antennes de poursuite installées dans les différentes stations terriennes dépend de trois facteurs: le nombre de satellites à poursuivre, le nombre d'antennes prêtes à prendre en charge les prochains satellites qui apparaîtront et le nombre de satellites en réserve. En général, une station terrienne de liaison de connexion dans un réseau du type non OSG peut être équipée d'environ 2 à 6 antennes.

Outre les stations terriennes de liaison de connexion, l'exploitation des satellites nécessite des centres de poursuite, télémessure et télécommande pour assurer la poursuite et la commande des constellations de satellites. Un système à satellites comporte au moins deux de ces centres: un centre principal et un centre en réserve. Ils exercent les fonctions de commande des satellites, par exemple les manoeuvres orbitales, et surveillent l'état de fonctionnement des satellites et des sous-systèmes.

La Fig. 6 donne le schéma de principe d'une station passerelle ou station terrienne de liaison de connexion typique, avec ses chaînes de réception et d'émission.

FIGURE 6

Schéma de principe d'une station terrienne de liaison de connexion



HPA: Amplificateur haute puissance  
LNA: Amplificateur faible bruit

MSS-06

## 2.6 Rôle du SMS dans les IMT-2000

### 2.6.1 Composante satellites des IMT-2000

Les IMT-2000 sont des systèmes mobiles de troisième génération qui permettront d'accéder, par l'intermédiaire de liaisons radioélectriques de Terre et/ou par satellite, à une large gamme de services de télécommunication fournis par les réseaux fixes (par exemple, RTPC, RNIS, Protocole Internet (IP)) et à d'autres services spécifiques aux utilisateurs mobiles. Ces systèmes comprennent une série de types de terminaux mobiles qui assurent la liaison avec les réseaux de Terre et/ou à satellite, ces terminaux pouvant être conçus pour l'usage mobile ou fixe.

La *composante satellites* des IMT-2000 viendra compléter la composante de Terre en fournissant un service d'itinérance internationale, en desservant des zones faiblement peuplées où les infrastructures de Terre ne seraient pas rentables (en raison du faible taux de peuplement ou des délais de mise en place des systèmes de Terre), et en contribuant à introduire les IMT-2000 à l'échelle du globe. La couverture complète de la surface terrestre ne pourra donc être réalisée que par une combinaison d'interfaces radioélectriques par satellite et de Terre.

La Recommandation UIT-R M.1455 spécifie les caractéristiques principales des interfaces radioélectriques pour la composante satellites des IMT-2000. Ce texte précise que, en raison des contraintes imposées à la conception et à la mise en place des systèmes à satellites, plusieurs de ces interfaces devront être mises en oeuvre pour les IMT-2000 (pour de plus amples informations, voir la Recommandation UIT-R M.1167). La Recommandation UIT-R M.1457 définit complètement ces interfaces.

La Recommandation UIT-R M.818 traite aussi la question de la composante satellites des IMT-2000. Il y est indiqué que l'utilisation des satellites dans les IMT-2000 pourra faciliter le développement des services de télécommunication dans les pays en développement.

Les terminaux d'utilisateur dans la composante satellites des IMT-2000 offriront un ou plusieurs modes d'exploitation: un mode satellite et éventuellement un ou plusieurs modes de Terre. En cas de mise en oeuvre d'un mode de Terre, les terminaux devront avoir la possibilité de choisir le mode satellite ou le mode de Terre, soit automatiquement, soit par commande de l'utilisateur.

L'interface satellite/terminal de Terre (mode jumelé) accomplit les fonctions suivantes:

- elle permet la négociation des services supports dans les réseaux de Terre et les réseaux à satellite;
- elle rend possible le déplacement des abonnés itinérants entre ces deux types de réseaux;
- grâce à cette interface, la gestion et la fourniture des services sont conformes aux dispositions des Recommandations relatives aux IMT-2000.

Le transfert des communications entre la composante de Terre et la composante satellites n'est pas obligatoire dans les IMT-2000. C'est à l'opérateur du réseau qu'il appartient de décider si ce transfert doit être opéré. Si cette fonction n'est pas mise en oeuvre, le déplacement entre les deux composantes pourra être une simple fonction de commutation: si un terminal d'utilisateur perd sa connexion à un réseau de Terre, il pourra chercher un réseau à satellite.

Les satellites et les systèmes à satellites continueront à développer des performances de plus en plus élevées (qualité et débits binaires plus élevés) et à utiliser des antennes plus petites dans les terminaux. Malgré cela, le marché des satellites accordera la préférence aux petits terminaux et à la mobilité plutôt qu'aux grands débits binaires. Compte tenu des contraintes imposées par les bilans de liaison et par les limitations de largeur de bande dans les systèmes à satellites il ne sera peut-être pas rentable de mettre en oeuvre des services à large bande pour la transmission entre un satellite et un terminal portable. Cela signifie que les capacités de service de la composante satellites des IMT-2000 ne seront peut-être pas identiques à celles de la composante de Terre.

La composante satellites pourra être réalisée en «autonome», avec une intelligence capable d'accomplir les fonctions suivantes: démarrage, cessation et taxation des services, réenregistrement et localisation des utilisateurs lorsque ceux-ci se déplacent vers d'autres réseaux ou d'autres zones de service, et tenue à jour des bases de données d'utilisateurs. Une autre formule consisterait en un partage de l'information entre la composante satellites et d'autres réseaux.

Le RR désigne les bandes de fréquences du SMS suivantes pour l'utilisation mondiale par les administrations désireuses de mettre en oeuvre la composante satellites des IMT-2000 (voir le numéro 5.351A du RR): 1 525-1 544 MHz; 1 545-1 559 MHz; 1 610-1 626,5 MHz; 1 626,5-1 645,5 MHz; 1 646,5-1 660,5 MHz; 1 980-2 010 MHz; 2 170-2 200 MHz; 2 483,5-2 500 MHz; 2 500-2 520 MHz et 2 670-2 690 MHz.

La Résolution 225 (CMR-2000) introduit une certaine souplesse pour l'utilisation à long terme des bandes 2 500-2 520 MHz/2 670-2 690 MHz.

*On notera ce qui suit: outre l'utilisation des bandes du SMS désignées pour la composante satellites des IMT-2000, il est possible d'avoir recours également aux bandes du SFS pour les liaisons de connexion et pour d'autres connexions de réseau aux fins des IMT-2000.*

## **2.7 Systèmes mobiles mondiaux de communications personnelles par satellite**

La définition d'un Système mobile mondial de communications personnelles par satellite (GMPCS, *global mobile personal communications by satellite*) est la suivante: tout système à satellites (fixe, mobile, à large bande ou à bande étroite, mondial ou régional, OSG ou non OSG, existant ou en projet) qui fournit des services de télécommunication directement à des utilisateurs finals à partir d'une constellation de satellites. Cette définition peut recouvrir un large éventail de configurations de satellite et de services y afférents.

Les GMPCS ont fait l'objet des travaux du Forum mondial des politiques de télécommunication de 1996 (FMPT-96), qui a élaboré les textes suivants: cinq Avis qui ont servi de base à un Mémoire d'accord (MoU), des Arrangements associés et un cadre réglementaire pour la mise en oeuvre des services.

Les cinq Avis sont les suivants:

Avis N° 1 – Rôle des GMPCS dans la mondialisation des télécommunications

Avis N° 2 – Position et principes communs relatifs aux communications personnelles mobiles mondiales par satellite

Avis N° 3 – Etudes essentielles devant être menées par l'UIT en vue de faciliter la mise en service des GMPCS

Avis N° 4 – Etablissement d'un MoU visant à faciliter la libre circulation des GMPCS

Avis N° 5 – Mise en oeuvre des GMPCS dans les pays en développement

Les signataires du MoU (administrations, opérateurs de systèmes, constructeurs de terminaux, etc.) sont convenus de coopérer en ce qui concerne l'homologation des terminaux, l'octroi de licences et l'identification des terminaux, ainsi que les dispositions douanières et l'accès aux données de trafic. Le MoU indique que «les Parties examinent régulièrement les résultats et les conséquences de la coopération qu'[elles] établissent en vertu du présent *Mémoire d'accord*. Le cas échéant, elles déterminent s'il y a lieu d'améliorer cette coopération et formulent des propositions appropriées en vue de modifier et de mettre à jour les *arrangements* et le domaine d'application du présent GMPCS-MoU». Des réunions annuelles sont programmées en vue de réaliser cet objectif.

Les études essentielles que l'UIT doit entreprendre pour faciliter la mise en oeuvre des GMPCS se répartissent comme suit:

### **UIT-R**

Compatibilité

### **UIT-T**

Normes

### **UIT-D**

Assistance aux pays en développement afin qu'ils prennent des mesures appropriées pour la mise en oeuvre des GMPCS.

Par ailleurs, par son Avis N° 5, le Forum charge le Directeur du BDT de créer un groupe d'experts pour:

- 1 Préparer une liste des facteurs que les pays en développement pourront prendre en compte lors de la mise en oeuvre des GMPCS.
- 2 Fournir des avis et une assistance aux pays en développement concernant les questions techniques et réglementaires liées à la mise en oeuvre des GMPCS à l'échelle mondiale ou régionale, notamment dans les domaines de la tarification et de l'interconnectivité.
- 3 Etudier les répercussions politiques et socio-économiques des services GMPCS dans les pays en développement.
- 4 Par ailleurs, le groupe d'experts est chargé de rédiger à l'intention de la prochaine Conférence mondiale de développement des télécommunications un rapport fondé sur les études de ce groupe ... et les pays en développement ont été priés instamment de faire connaître leurs préoccupations et leurs besoins au BDT.

Les arrangements ont pour objet: de faciliter l'octroi d'autorisations et de licences pour des services fournis par des opérateurs de systèmes désignés; de permettre l'identification de terminaux homologués, spécifiques aux systèmes, au moyen d'un «label UIT GMPCS-MoU», et d'encourager les administrations à autoriser la libre circulation des terminaux «identifiés» au passage des frontières nationales de leurs pays respectifs. Le Secrétaire général de l'UIT est l'intermédiaire par lequel passe l'information qui est créée au titre des Arrangements et qui circule entre les administrations, les opérateurs, les constructeurs de terminaux et l'UIT. Par sa Résolution 1116, adoptée en mai 1998, le Conseil de l'UIT a entériné ces dispositions et autorisé formellement l'UIT à remplir cette fonction et à devenir le dépositaire des Arrangements relatifs aux GMPCS sur la base du recouvrement intégral des coûts.

Agissant en qualité de dépositaire, l'UIT a créé, en décembre 1998, une page web qui donne la liste des signataires du MoU relatif aux GMPCS. On y trouve aussi des renseignements sur les sujets suivants: mise en oeuvre des arrangements pour certains systèmes; terminaux associés à chaque système homologué et autorisé à porter le «label UIT GMPCS-MoU»; et réponses des administrations concernant la libre circulation de terminaux spécifiques au passage des frontières nationales de leur pays. Pour obtenir d'autres renseignements sur le rôle de dépositaire du GMPCS-MoU, ainsi que des données y relatives, on peut visiter la page d'accueil de l'UIT, en sélectionnant la base de données du GMPCS-MoU. On peut aussi trouver le site web en allant à <http://dmsprod.itu/gmpcs>.



## CHAPITER 3

### APPLICATIONS TYPES ET APPLICATIONS POTENTIELLES DES COMMUNICATIONS DANS LE SMS

#### 3.1 Applications générales pour les SMS maritime, aéronautique et terrestre

On trouve dans le service mobile par satellite les applications les plus diverses pour la fourniture généralisée de communications vocales et de données aux usagers des communautés maritime, aéronautique et terrestre. Il s'agit des applications suivantes: services d'alerte de détresse et de localisation en cas d'urgence, téléphonie à numérotation directe, transfert de données, télécopie, télex, courrier électronique, transmission audio et vidéo (numérique) avec compression de haute qualité, images fixes et visioconférence. Les débits de données numériques fournis par les différents prestataires des SMS s'échelonnent entre quelques dizaines de bits par seconde (valeurs appropriées pour les services de messages courts) et 64 kbit/s (valeurs appropriées pour de nombreuses transmissions de données à haut débit). On prépare des transmissions à débits binaires encore plus élevés.

Les terminaux du SMS sont extrêmement variés en ce qui concerne leur forme et leurs dimensions. Ils peuvent être conçus pour le transport par une personne, jusqu'à un certain endroit, ou être fixés sur un véhicule, un navire (ou une petite embarcation) ou encore sur un aéronef. On trouve des modèles allant du petit terminal de radiomessagerie et du téléphone portable pouvant être porté à la ceinture, jusqu'à de très grands terminaux équipés d'antennes directives, qui nécessitent une plate-forme stabilisatrice pour compenser les mouvements d'un navire par mer agitée.

Les utilisateurs types des applications du SMS sont les suivants:

- Utilisateurs terrestres, par exemple: journalistes, cadres en déplacement, agences fournissant des secours en cas de catastrophe, fonctionnaires gouvernementaux, exploitants de camions ou de trains, entreprises de prospection de minéraux, ouvriers travaillant sur des sites éloignés (par exemple, construction d'installations hydroélectriques ou de routes).
- Utilisateurs maritimes, par exemple: exploitants de bateaux de pêche, yachts, cargos, navires porte-conteneurs, plates-formes de forage, pétroliers, transporteurs de gaz naturel liquéfié, navires de croisière.
- Utilisateurs aéronautiques, par exemple: opérateurs de lignes aériennes, avions de sociétés, aviation générale et hélicoptères.

#### 3.2 Applications dans les pays en développement

Un objectif important des applications du SMS dans les pays en développement est la mise en place de services de télécommunication viables dans les régions du monde à faible densité téléphonique. Il existe toute une série de ces applications qui peuvent être bénéfiques pour ces pays, depuis les services de communication pour collectivités rurales jusqu'à des applications spécialisées pour leurs industries.

Beaucoup de ces applications pourraient être mises en oeuvre par le RTPC ou par des réseaux hertziens de Terre (boucles locales hertziennes ou réseaux mobiles cellulaires) si ces réseaux étaient disponibles. Toutefois, l'extension de ces réseaux de Terre aux zones insuffisamment desservies, souvent sur des terrains difficiles, serait une opération coûteuse, car il faudrait des capitaux de premier établissement élevés et les retours sur investissement seraient médiocres. Par ailleurs, les délais de mise en place de ces réseaux seraient considérables.

Les télécommunications par satellite dans le service mobile permettent de surmonter les difficultés d'ordre pratique et logistique liées aux installations de lignes terrestres et aux installations herziennes de Terre. Elles présentent plusieurs avantages: disponibilité immédiate, investissement initial nettement inférieur et mise en oeuvre plus rapide. Dans bien des cas, elles représentent la seule méthode réaliste pour étendre un service de télécommunication à des zones rurales et reculées.

On trouvera ci-après la description des situations dans lesquelles le recours aux applications du SMS est indiqué dans les pays en développement:

#### *Utilisation dans les collectivités rurales*

Il existe des villages ou de petites villes qui sont très dispersés et éloignés des centres urbains (donc éloignés des installations de télécommunication de Terre). Les communications du SMS peuvent avoir une influence positive profonde sur ces collectivités rurales. Outre qu'elle concourt à la réalisation des objectifs de l'accès universel, la présence de télécommunications contribue toujours à intensifier le développement socio-économique dans ces collectivités.

Comme exemples de terminaux adaptés aux collectivités rurales, citons les appareils portatifs ou semi-fixes alimentés par des batteries pouvant être rechargées par des générateurs d'énergie solaire ou électriques.

#### *Utilisation sur des sites éloignés*

Une désignation générique de ces sites est celle de sites industriels isolés. Il s'agit de mines, de chantiers de construction, de lieux de séjour touristiques ou d'exploitations économiques telles que sylviculture, agriculture, industrie pétrolière, gaz ou extraction de minéraux. Disposer de communications est indispensable pour les services d'administration, de sécurité et de santé de ces sites.

Exemples de terminaux adaptés aux sites éloignés: toute la gamme allant des équipements de surveillance à distance à faible débit de données jusqu'aux équipements de transmission de données et de signaux vocaux à haut débit.

#### *Utilisation par les pouvoirs publics*

Communications à destination des services officiels décentralisés: police, établissements d'enseignement, services publics de santé et de sécurité, entretien des routes, gardes-frontières.

#### *Utilisation pour les secours en cas de catastrophe et pour les cas d'urgence*

On a ici l'équivalent des organisations humanitaires et des travailleurs sociaux qui ont recours aux communications dans le SMS pour, par exemple, commander des approvisionnements et rester en contact avec leur quartier général. Ces communications sont aussi utilisées de plus en plus pour l'établissement de plans d'urgence et les préparatifs pour faire face à des catastrophes, par exemple dans la coordination des forces de police et du corps des pompiers, ou pour la surveillance à distance de zones de catastrophes potentielles (tremblements de Terre et inondations).

#### *Utilisation en télémédecine*

Ces communications permettent aux praticiens de faire le diagnostic d'une maladie ou d'examiner un patient se trouvant à une grande distance sans courir le risque de le faire transporter et sans qu'on ait à supporter le coût de ce transport.

### *Autres utilisateurs professionnels*

Il s'agit de personnes telles que les représentants de commerce, les journalistes, les géologues, etc., qui utilisent les applications du SMS pour leurs communications. Ces utilisations peuvent aller de la transmission de rapports et de travaux sur le terrain jusqu'aux communications nécessaires pour les travaux du «bureau mobile».

La gamme des terminaux adaptés aux activités des utilisateurs professionnels va des téléphones mobiles de poche bimodes commercialisés récemment (qui permettent les communications cellulaires de Terre et l'accès au SMS) jusqu'aux terminaux informatisés format carnet avec fonctions de communication intégrées de signaux vocaux, télécopie et données.

### **3.3 Applications reposant sur des infrastructures de télécommunication très développées**

Les pays en développement ne sont pas les seuls où l'on trouve actuellement des zones reculées non desservies en télécommunications publiques. Là où de grandes distances et des terrains difficiles séparent les collectivités rurales (où les usagers potentiels sont peu nombreux) des grands centres urbains, les considérations de coût peuvent empêcher la mise en oeuvre et l'exploitation des services de Terre classiques.

A cet égard, il y a peu de différence entre les applications décrites plus haut dans le cas des pays en développement et celles que l'on peut envisager pour les pays industrialisés. Les profils types des usagers et les utilisations sont les mêmes dans les deux cas.

### **3.4 Fonctionnement du SMS en mode type «mini LEO» dans les bandes inférieures à 1 GHz**

Les attributions de fréquences au SMS peuvent être générales (attributions au SMS) ou restreintes (par exemple, attributions au SMTS). Ces considérations sur les applications des communications sont générales et s'appliquent au SMS. Pour les systèmes susceptibles de fonctionner avec des fréquences attribuées au SMTS, les applications identifiées seraient exclusivement terrestres.

Les applications les plus économiques dans le SMS dépendent d'un certain nombre de facteurs: le débit de données nécessaire, la taille et le prix des terminaux, les coûts totaux afférents au système, la nature des communications (en temps réel ou avec enregistrement), etc. La forme de mise en oeuvre optimale du SMS variera donc avec l'application. Les paragraphes qui suivent spécifient les applications types et les applications potentielles pour le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz.

#### **3.4.1 Applications types et potentielles des communications autres que vocales dans le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz**

Les systèmes fonctionnant dans le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz sont capables de transmettre des paquets de données numériques à de faibles débits (2,8 à 19,2 kbit/s). Les fréquences basses utilisées (inférieures à 1 GHz) et les orbites terrestres basses ont pour conséquence l'emploi de petits satellites et de petites stations terriennes de faible puissance, d'où résultent des coûts modiques de mise en oeuvre des systèmes. Les réseaux sont conçus pour fournir une couverture de la totalité ou de la quasi-totalité de la surface terrestre (certains systèmes ne sont pas en mesure de couvrir complètement les régions polaires). En général, les systèmes en service dans le SMS au-dessous de 1 GHz fonctionnent en mode de quasi temps réel lorsqu'un même satellite couvre à la fois la station utilisatrice et la station de liaison de connexion. Cependant, les systèmes peuvent aussi fonctionner en mode enregistrement et retransmission lorsque les deux stations ne se trouvent pas dans la même empreinte de faisceau d'antenne du satellite; c'est le cas lorsque l'utilisateur est situé au milieu d'une zone océanique. Dans ce mode de fonctionnement, on a un délai de système qui peut aller de quelques secondes à quelques heures, selon le moment du passage suivant du satellite au-dessus de la station de liaison de connexion.

Le Tableau 4 donne la liste des applications qui ont été recensées pour le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz, avec l'indication et l'explication de plusieurs types d'applications de ces communications. Les systèmes correspondants conviennent à des applications nécessitant des transmissions intermittentes de petits paquets de données. Du point de vue technique, toutes les applications seraient disponibles sur l'ensemble de la zone de couverture du réseau, mais la demande du marché pour les diverses applications variera selon les caractéristiques démographiques de la zone locale (zone urbaine ou rurale, infrastructure de télécommunications en cours de développement ou très développée, et autres facteurs). Les zones urbaines et les zones rurales ont des besoins différents en matière de communications de données et ont des solutions différentes pour la fourniture de ces communications. Certains pays disposant d'infrastructures de télécommunications très développées possèdent des réseaux qui sont capables de fournir une diversité de communications de données. Dans ces pays, il est possible également qu'on ait davantage besoin d'interactions homme-machine et machine-machine pour le traitement des données; cela se traduit par une forte demande d'applications, plus forte que dans les pays en développement. Le Tableau 4 donne aussi des projections de la demande du marché en matière d'applications d'une part, dans les pays en développement et dans les pays très industrialisés, d'autre part, dans les zones urbaines et les zones rurales.

TABLEAU 4

**Applications des communications et projections de la demande du marché pour le SMS non OSG au-dessous de 1 GHz dans les zones urbaines et rurales ayant des infrastructures de télécommunications en développement et développées<sup>(1)</sup>**

Applications des communications		Projections de la demande du marché <sup>(1)</sup> H = forte (high), M = moyenne, L = faible (low)			
Type	Applications spécifiques	Infrastructure de télécommunications en développement		Infrastructure de télécommunications développée	
		Zone urbaine	Zone rurale	Zone urbaine	Zone rurale
Inventaire et gestion de véhicules	Camions, remorques, conteneurs, équipements lourds, wagons de chemin de fer, navires, aéronefs	H	H	H	H
Surveillance et commande à distance	Lecture d'appareils de mesure, gisements d'hydrocarbures et de gaz, pipelines, systèmes d'irrigation, distributeurs automatiques	L	M	M	H
Messagerie et localisation bidirectionnelles	E-mail, radiomessagerie, surveillance de véhicules et messagerie, messagerie personnelle, messages d'affaires	L	M	L	M
Services d'urgence	Surveillance, systèmes de sécurité, localisation, expéditions	M	M	L	M
Transactions commerciales	Validation de cartes de crédit, traitement des données des points de vente, contrôle d'inventaire, services interactifs directs avec les particuliers	L	L	M	H

<sup>(1)</sup> Toutes les applications sont techniquement possibles dans toutes les zones. Ce Tableau donne les projections de la demande du marché dans chaque zone.

### **3.5 Types de service (téléphonie, télécopie, données et courrier électronique)**

Les systèmes du SMS sont capables de fournir une vaste couverture continue pour les services mobiles maritime, aéronautique et terrestre. On a le choix entre des services extrêmement divers pour les communications vocales, de télécopie et de données. Des terminaux portables et des terminaux de poche ont aussi été réalisés pour les communications personnelles. Par ailleurs, on note une tendance à augmenter la vitesse de transmission (débit binaire) afin de mettre en oeuvre des services dits de multimédia, principalement en ayant recours à la transmission de données ou de paquets de données à haut débit. Certaines applications utilisateur ont aussi été développées afin d'améliorer les conditions d'utilisation du SMS.

#### **3.5.1 Services de base**

Les premières opérations d'Inmarsat ont eu pour cadre les services maritimes. Les stations terriennes de navire Inmarsat-A ont été mises en oeuvre principalement à bord de grands bâtiments hauturiers pour fournir des services de téléphonie, télécopie, télex et données, à l'aide de transmissions analogiques MF à bande étroite. Le premier système à transmission numérique a été installé dans les terminaux Inmarsat-B, qui fournissaient les mêmes services avec une excellente qualité (faible TEB). Pour les unités plus petites, par exemple les bateaux de plaisance on a mis au point les terminaux Inmarsat-C, avec lesquels on peut transmettre des données et des messages par la technique d'enregistrement et retransmission. Il y a aussi les terminaux Inmarsat-M pour la transmission numérique, à partir d'une petite station terrienne de la taille d'une mallette, qui fournit, elle aussi, des services de téléphonie, de télécopie et de transmission de données. Ultérieurement, un terminal beaucoup plus petit, le «mini-M», de la taille d'un ordinateur portable, a été réalisé pour le système Inmarsat. Son antenne est généralement incorporée au couvercle de l'appareil (analogue au couvercle d'un PC portable), représentant la surface d'un document de format A4.

#### **3.5.2 Applications utilisateur**

##### **3.5.2.1 Courrier électronique**

Il existe une grande compatibilité entre la transmission du courrier électronique et les services de transmission de messages dans le SMS. Par exemple, le terminal Inmarsat-C est capable de réaliser, dans une station terrienne côtière (STC), l'interconnexion entre, d'une part, une transmission de messages avec enregistrement et retransmission via une liaison par satellite et, d'autre part, l'Internet de Terre. Dans la STC, les messages en provenance de l'Inmarsat-C sont généralement transférés aux équipements de la station passerelle, qui fournissent la fonctionnalité d'interface avec les services d'Internet. Il faut être ici spécialement attentif à la gestion de l'information de facturation et au contrôle de sécurité. On peut citer un autre exemple, celui de la transmission du courrier électronique dans les systèmes du type mini LEO. Les applications de cette transmission, à destination ou en provenance d'un abonné d'un système mini LEO, fournissent la liaison de communication entre les appareils d'abonné distants, portatifs ou mobiles, et l'Internet. Il s'agit en général ici de messages dont le texte est simple et non de messages comportant de longues annexes, car on dispose d'une largeur de bande limitée pour le SMS au-dessous de 1 GHz.

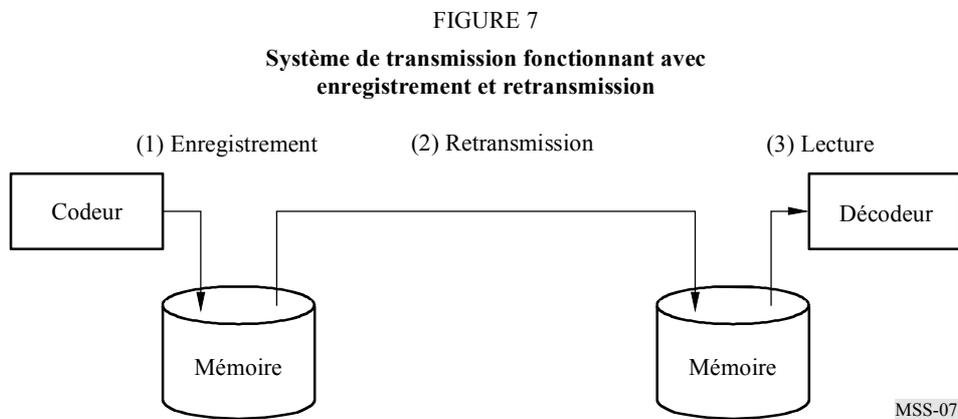
Si le satellite est en vue d'une station terrienne passerelle (STP) au moment de l'émission du message, celui-ci est transmis immédiatement à cette station. Sinon, le satellite se met en mode d'enregistrement et retransmission; le message est stocké dans le satellite jusqu'à ce que ce dernier entre dans le champ de vision d'une STP appropriée.

### 3.5.2.2 Transmission vidéo

#### a) *Systèmes de transmission vidéo avec enregistrement et retransmission*

La transmission vidéo en temps réel nécessite une liaison numérique ayant une qualité de service garantie et fonctionnant à des débits binaires élevés, or on ne dispose pas toujours d'un canal possédant ces caractéristiques. Il existe une solution, la compression ou le codage vidéo, mais un débit codage de plusieurs dizaines de Mbit/s demeure nécessaire pour transmettre des images de télévision de haute qualité, pour lesquelles il faut prévoir un post-traitement.

Une autre solution est fournie par la transmission vidéo avec enregistrement et retransmission. Ici, les données vidéo codées sont tout d'abord stockées dans une mémoire locale, puis transmises à une mémoire distante. Elles sont ensuite reproduites dans un terminal distant (voir la Fig. 7).



Dans ce mode de transmission vidéo, la qualité des signaux vidéo transmis est indépendante du débit binaire. On peut ainsi obtenir une transmission vidéo de haute qualité, par exemple dans le système à satellites d'Inmarsat. La particularité de cette technique réside dans le fait qu'il y a un compromis entre le temps de transmission et le débit de codage (qualité vidéo). Il est donc important d'équilibrer le débit de codage et la liaison de communication disponible.

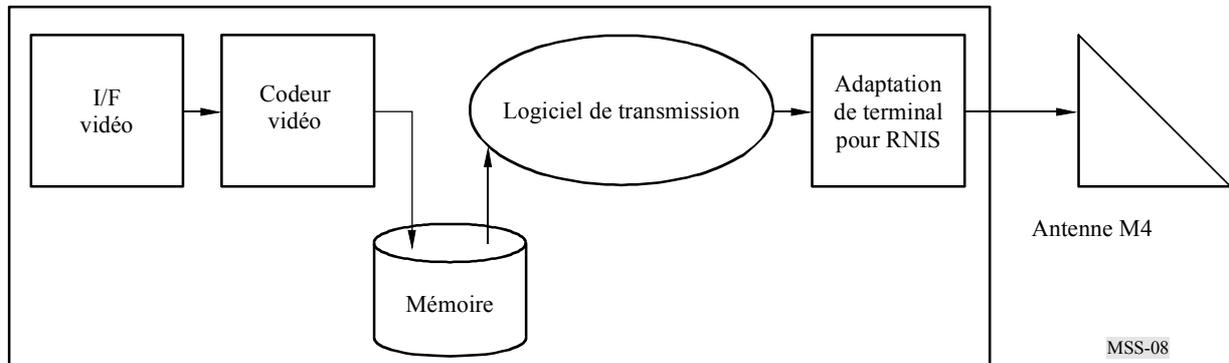
#### b) *Pour le réseau mondial d'Inmarsat (précédemment M4)*

Le réseau GAN (*global area network*) d'Inmarsat est le service le plus récent pour les applications qui nécessitent une grande largeur de bande. Il permet la transmission à 64 kbit/s à destination d'équipements terminaux de traitement de données en interface avec le RNIS. Par conséquent, le système de transmission vidéo avec enregistrement et retransmission doit comporter un adaptateur de terminal pour le RNIS. L'antenne GAN d'Inmarsat est compacte et transportable (5 × 20 × 20 cm); elle est donc d'une utilisation commode pour couvrir les événements d'actualité (accidents) ou les reportages sur place, en association avec des systèmes à enregistrement et retransmission.

Le débit binaire étant de 64 kbit/s, la méthode de codage vidéo recommandée est MPEG-4 (environ 10 kbit/s à 1 Mbit/s) ou MPEG-1 (1,5 Mbit/s). Dans le cas du codage MPEG-1, le temps de transmission d'une séquence vidéo de 1 min est de 24 min.

La Fig. 8 représente une structure type d'émetteur vidéo fonctionnant avec enregistrement et retransmission.

FIGURE 8  
Structure de l'émetteur



Un signal vidéo est successivement capté, codé et mémorisé. Les données mémorisées sont ensuite transmises par un canal de satellite, avec utilisation d'un logiciel de transmission. Les caractéristiques des différents dispositifs sont les suivantes:

I/F vidéo: composite analogique et/ou I/F IEE 1394 (VD)

Codeur vidéo: MPEG-1 ou MPEG-4

Logiciel de transmission: doit être fiable (exempt d'erreurs) et capable de faire redémarrer une transmission interrompue.

La structure du récepteur est presque identique à celle de l'émetteur, la seule différence étant l'antenne. Le récepteur peut être installé dans une station de radiodiffusion si le réseau d'arrivée est un RNIS (câble).



## CHAPITRE 4

### ASPECTS TECHNIQUES DES SYSTÈMES DU SMS

#### 4.1 Architecture des systèmes et commande des réseaux

##### 4.1.1 Vue d'ensemble de l'architecture des systèmes et de la commande des réseaux

Dans les systèmes du SMS type OSG et non OSG, on a élaboré des architectures différentes pour répondre aux divers besoins des utilisateurs s'agissant de la conception optimale et de services spécifiques.

###### 4.1.1.1 SMS type OSG

Les systèmes du SMS type OSG ont été utilisés pour fournir des services SMS mondiaux, régionaux et nationaux. Le système Inmarsat est un exemple typique de système SMS mondial de type OSG. Il existe actuellement plusieurs autres systèmes qui ont déjà fonctionné dans des services régionaux et nationaux. Parmi ceux-ci, citons *Motient* (précédemment *American Mobile Satellite Corporation – AMSC*), TMI (Canada), *Thuraya*, *Optus* (précédemment *Aussat*), etc. Plusieurs systèmes du SMS type OSG sont à l'étude, ou sur le point d'être lancés; ils permettront de transmettre directement jusqu'à des terminaux de poche des signaux vocaux et des données à débit lent.

###### *Un système du SMS mondial type OSG*

Inmarsat spécifie une structure de système SMS mondial et utilise actuellement quatre satellites OSG pour assurer une couverture mondiale. Chaque satellite est affecté à une région océanique spécifique, qui reçoit un code de région océanique pour identifier le réseau à satellite – ce qui est l'équivalent de l'indicatif de pays dans le RNIS.

Chaque région océanique contient plusieurs STC qui établissent l'accès à un satellite à partir de réseaux téléphoniques de Terre et d'autres réseaux de télécommunication. Chaque STC gère aussi l'information de taxation. Par ailleurs, une station coordonnatrice de réseau (SCR) gère l'assignation des canaux pour le satellite.

Comme indiqué précédemment, les liaisons par satellite qui relient les STC au satellite sont appelées «liaisons de connexion»; dans le cas d'Inmarsat, les bandes des 6 GHz et des 4 GHz sont utilisées pour ces liaisons. Bien entendu, Inmarsat assure les connexions entre les satellites et les terminaux mobiles («liaisons de service»), dans les bandes des 1,6 GHz et des 1,5 GHz attribuées au SMS.

Les satellites Inmarsat de la première génération fonctionnaient avec des «faisceaux à couverture mondiale», chaque satellite éclairant environ un quart à un tiers de la surface du globe. Dans la génération la plus récente, Inmarsat-3, on a, en plus, jusqu'à sept faisceaux ponctuels qui couvrent des zones océaniques et continentales déterminées, avec des puissances (p.i.r.e.) plus élevées. La charge utile d'Inmarsat-3 comporte des batteries de filtres à ondes acoustiques de surface (SAW: *surface acoustic waves*) qui découpent le spectre à 1,6/1,5 GHz en éléments plus petits affectés aux faisceaux ponctuels ou au faisceau mondial.

#### *Systèmes du SMS type non OSG («super LEO»)*

L'architecture des systèmes du SMS type non OSG dépend des caractéristiques de leur constellation: LEO ou MEO, c'est-à-dire de l'altitude et de l'inclinaison des orbites des satellites non OSG. Dans les systèmes LEO du SMS, en raison de la faible altitude, il faut beaucoup plus de satellites pour obtenir une couverture complète du globe, chaque satellite ayant un champ de vision limité. Par exemple, on a 66 satellites dans le système IRIDIUM et 48 satellites dans Globalstar. Le nombre des satellites est plus petit dans les systèmes MEO, dont les altitudes sont comprises entre celles des systèmes LEO et celle des GEO: le système ICO est capable de fournir une couverture mondiale avec environ 10 à 12 satellites. Aujourd'hui, tous les systèmes utilisent les bandes des 1 GHz et 3 GHz attribuées au SMS.

#### *Systèmes du SMS type non OSG (mini LEO)*

Les systèmes du SMS à satellites non OSG fonctionnant au-dessous de 1 GHz sont généralement appelés systèmes non OSG non vocaux ou systèmes «mini LEO». Il s'agit généralement de systèmes desservant de vastes zones en communications de données bidirectionnelles avec commutation par paquets. Les communications dans les deux sens entre les STM et les STP passent par une constellation de satellites LEO. Les passerelles mettent en oeuvre des circuits commutés, des lignes privées spécialisées ou l'Internet.

### **4.1.2 Planification du trafic**

#### **4.1.2.1 Planification à long terme**

Il est indispensable de planifier le trafic à long terme pour pouvoir déterminer les caractéristiques des nouveaux systèmes du SMS et pour planifier l'implantation de ces systèmes. Il suffit généralement, dans la planification à long terme, d'estimer le volume total du trafic et son taux de croissance. Il est utile également de connaître la répartition géographique de la demande estimative de trafic et de savoir si la demande est estimée pour chacun des différents services.

Pour faire des prévisions à long terme du trafic, on utilise depuis des années, pour le RTPC, des méthodes d'analyse statistique par séries temporelles. Plusieurs Recommandations UIT-T décrivent des méthodes d'analyse fiables de ce type (Recommandation UIT-T E.506).

L'analyse économétrique est une autre méthode efficace de prévision du trafic à long terme. Elle repose sur les relations qui existent entre la demande de trafic et diverses métriques des activités économiques.

Ces méthodes n'ont pas été développées pour l'application aux systèmes du SMS, mais elles sont suffisamment fiables pour la planification à long terme du trafic dans ces systèmes.

#### 4.1.2.2 Planification à court terme

##### a) *Répartition géographique de la demande de trafic*

Pour la conception des systèmes et pour planifier l'exploitation des réseaux à satellite du service mobile à l'échelon mondial – en particulier pour les systèmes non OSG du SMS – il est indispensable d'avoir une estimation de la répartition mondiale de la demande de trafic.

Bien que les terminaux embarqués sur les navires et les terminaux aéroportés soient répartis sur toutes les grandes zones océaniques, on considère d'une manière générale, que la demande de trafic pour les SMS avec terminaux portables se concentre autour de zones fortement peuplées mais mal desservies par l'infrastructure actuelle des télécommunications. De ce point de vue, une manière d'estimer la demande de trafic consiste à utiliser des indices tels que la démographie et le nombre de lignes d'accès aux centraux (ce qui sous-entend le développement de l'infrastructure).

##### b) *Profil du trafic en fonction de l'heure locale*

Un autre facteur important est à prendre en considération pour la planification à court terme du trafic: le profil du trafic sur 24 h pour les courants de trafic internationaux devant être transportés par les réseaux mondiaux. Pour la modélisation du trafic, ces profils standard sur 24 h permettent de déterminer le volume de trafic horaire sous la forme d'un pourcentage du trafic de l'heure chargée. A noter que les profils varient généralement selon les pays d'origine et de destination pour plusieurs cas de décalage horaire entre ces pays. Pour simplifier, on pourrait appliquer une méthode approchée consistant à tenir compte seulement de l'heure locale du pays d'origine et à supposer qu'il y a un seul trafic sur 24 h pour tous les courants de trafic, quel que soit le décalage horaire entre deux pays. On calcule un pourcentage du volume de trafic horaire, sur la base de l'heure locale, en fonction du profil de trafic et du retard temporel par rapport au temps universel coordonné (UTC).

##### c) *Estimation du trafic à court terme pour la planification des ressources satellitaires*

Sur la base de la répartition géographique du trafic et d'un profil journalier du trafic pour chaque heure locale, la demande de trafic obtenue n'est pas uniforme sur toute la surface terrestre et l'intensité de trafic varie dans chaque zone en fonction du temps. Il est possible, dès lors, de représenter la valeur de la demande de trafic par  $D(X, Y, t)$ , où  $X$  et  $Y$  sont des coordonnées telles que la longitude et la latitude, et  $t$ , le temps UTC. La demande de trafic peut s'exprimer par des Erlangs, un nombre de canaux, un débit de transmission, etc. Une base de données fournissant les valeurs de  $D(X, Y, t)$  est indispensable pour planifier l'exploitation des systèmes du SMS type non OSG, comme le montre le § 4.1.2.3).

#### 4.1.2.3 Exemple de SMS type non OSG

En général, un satellite non OSG du SMS couvre sa zone de service à l'aide de plusieurs faisceaux ponctuels. On a l'estimation suivante pour la demande de trafic totale,  $T(t)$ , dans la zone de couverture de chaque faisceau ponctuel à l'instant  $t$ :

$$T(t) = \sum D(X, Y, t)$$

$$C \ni X, C \ni Y$$

où  $C$  désigne la couverture du faisceau ponctuel.

La zone de couverture de chaque faisceau ponctuel se déplace du fait du mouvement du satellite et l'intensité de trafic dans chaque zone varie dans le temps. Il est donc indispensable d'évaluer exactement la demande de trafic totale pour chaque faisceau et à chaque instant, en fonction de l'emplacement de la zone de couverture du faisceau à chaque instant. Cette demande totale varie par conséquent dans le temps. Cette information est indispensable pour gérer l'attribution de capacité de transmission à chaque faisceau ponctuel aux fins de la planification de l'exploitation.

### **4.1.3 Méthodes d'assignation des canaux**

#### **4.1.3.1 Accès multiple par assignation en fonction de la demande**

Les systèmes du SMS fonctionnent avec accès multiple par assignation en fonction de la demande (AMAD), pour permettre le partage d'une capacité de satellite limitée entre plusieurs terminaux mobiles. La fonction essentielle est la commande d'accès aléatoire, grâce à laquelle il est fait l'usage le plus efficace de la capacité du système. Les méthodes générales appliquées pour cette commande d'accès sont utilisées dans les systèmes ALOHA et ALOHA à segmentation temporelle.

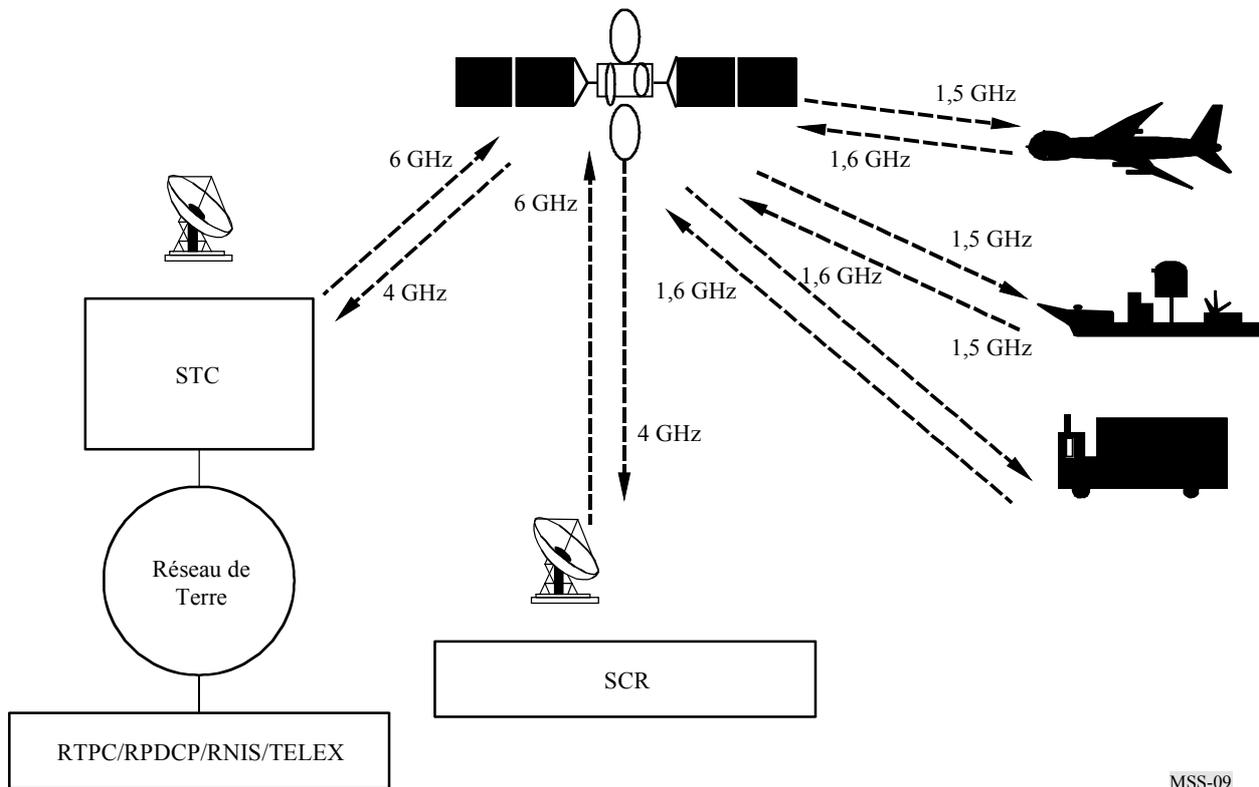
Considérons par exemple un terminal de navire du système Inmarsat qui envoie à une STC une demande de circuit par satellite, par l'intermédiaire d'un canal *demande* exploité dans le système ALOHA à segmentation. La transmission du message de demande aboutit si elle ne subit pas de collisions. Si le message de demande est bien reçu, la STC envoie à la SCR un message de demande d'assignation de canal, après quoi la SCR renvoie un message d'assignation de canal par l'intermédiaire d'un canal *assignation*.

De la même façon, un terminal mobile d'un réseau à satellite du GSM mettant en oeuvre le système GSM envoie un message de demande de canal en utilisant le canal d'accès aléatoire (RACH, *random access channel*) basé sur le système ALOHA à segmentation temporelle. La transmission de RACH aboutit s'il ne se produit pas de collisions de messages pendant cette transmission. A la réception de RACH, un message d'attribution de canal est renvoyé par l'intermédiaire d'un canal de commande d'octroi d'accès (AGCH, *access grant channel*).

#### **4.1.3.2 SMS type OSG (station coordonnatrice de réseau Inmarsat)**

Le système Inmarsat comporte une station de commande spécialisée pour l'assignation en fonction de la demande. Cette station, appelée SCR, est affectée à un satellite pour chaque région océanique. Elle est chargée de la régulation et de la gestion de la capacité du satellite, ainsi que de la commande de l'assignation des canaux selon la technique AMAD. A noter que la STC est capable d'interconnecter les liaisons par satellite avec les réseaux de Terre, mais elle doit s'en remettre à la SCR pour la commande d'assignation des canaux. La Fig. 9 représente la structure type du réseau Inmarsat.

FIGURE 9  
Structure du réseau Immarsat



MSS-09

La procédure suivante est appliquée pour la commande d'assignation des canaux dans ce réseau.

a) *Appel émanant de la station mobile*

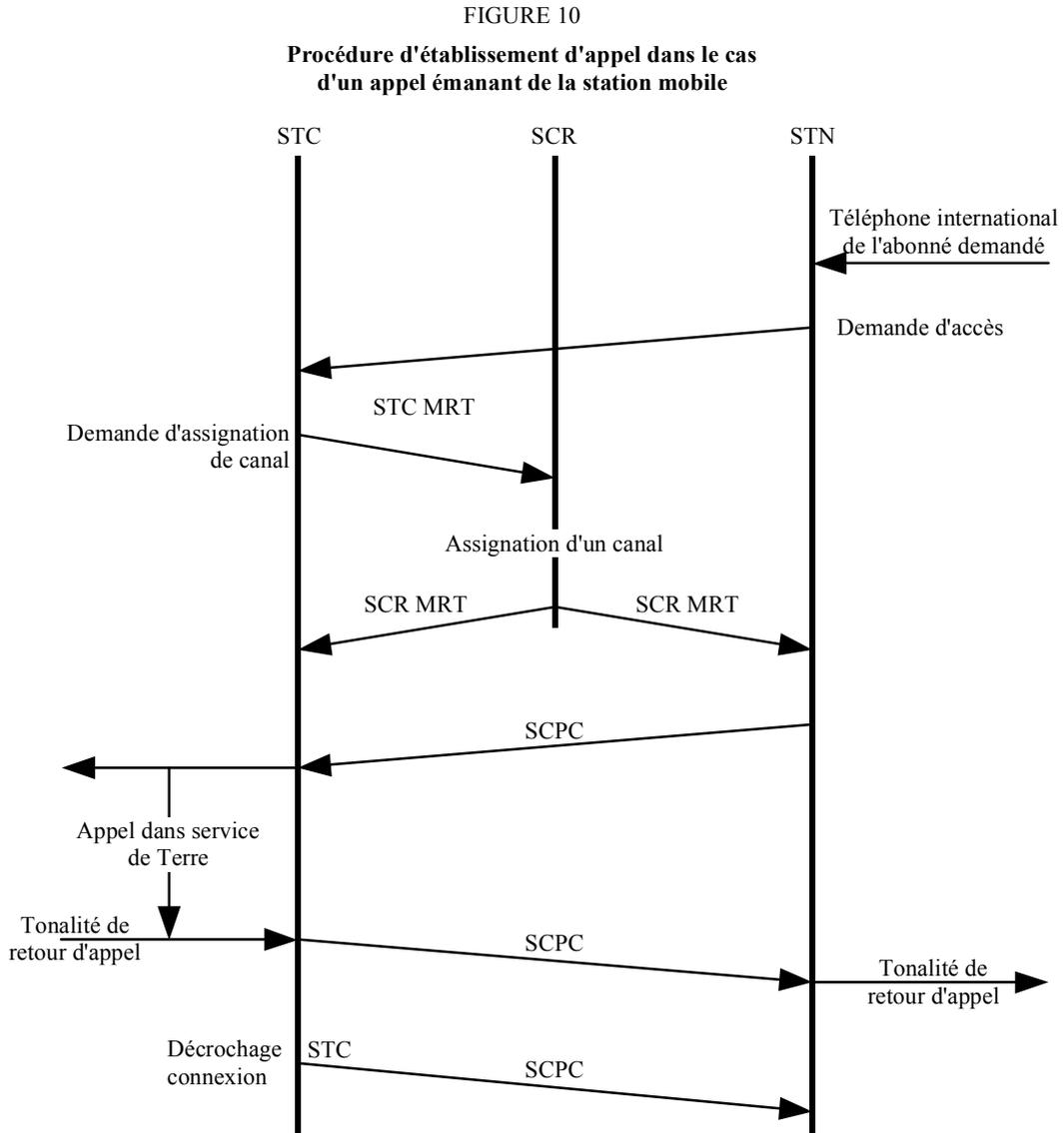
*Etape 1:* Une STN envoie un message de demande par l'intermédiaire du canal *demande* en mode d'accès aléatoire. Si la transmission du message n'aboutit pas, elle est répétée.

*Etape 2:* Si le message de *demande* est bien reçu par la STC, sans collisions, cette station envoie à la SCR un message de demande d'assignation de canal. La SCR recherche un canal satellite disponible entre la STN demanderesse et une STC de destination. Lorsque ce canal est trouvé, la SCR transmet un message d'*assignation* à la STN et à la STC de destination.

*Etape 3:* Une fois que le message d'assignation a été reçu par la STN et la STC, une liaison par satellite est établie entre ces stations.

*Etape 4:* Lorsque la communication est terminée, la STC en fait part à la SCR, qui annule l'assignation du canal.

La Fig. 10 représente cette séquence d'assignation de canal.



Note:

MRT: Porteuse MRT  
SCPC: Porteuse SCPC

MSS-10

b) *Appel destiné à la station mobile*

*Etape 1:* Lorsqu'une STC reçoit un appel en provenance d'un réseau de Terre, elle demande à la SCR d'envoyer un message d'annonce d'appel à la STN appelée.

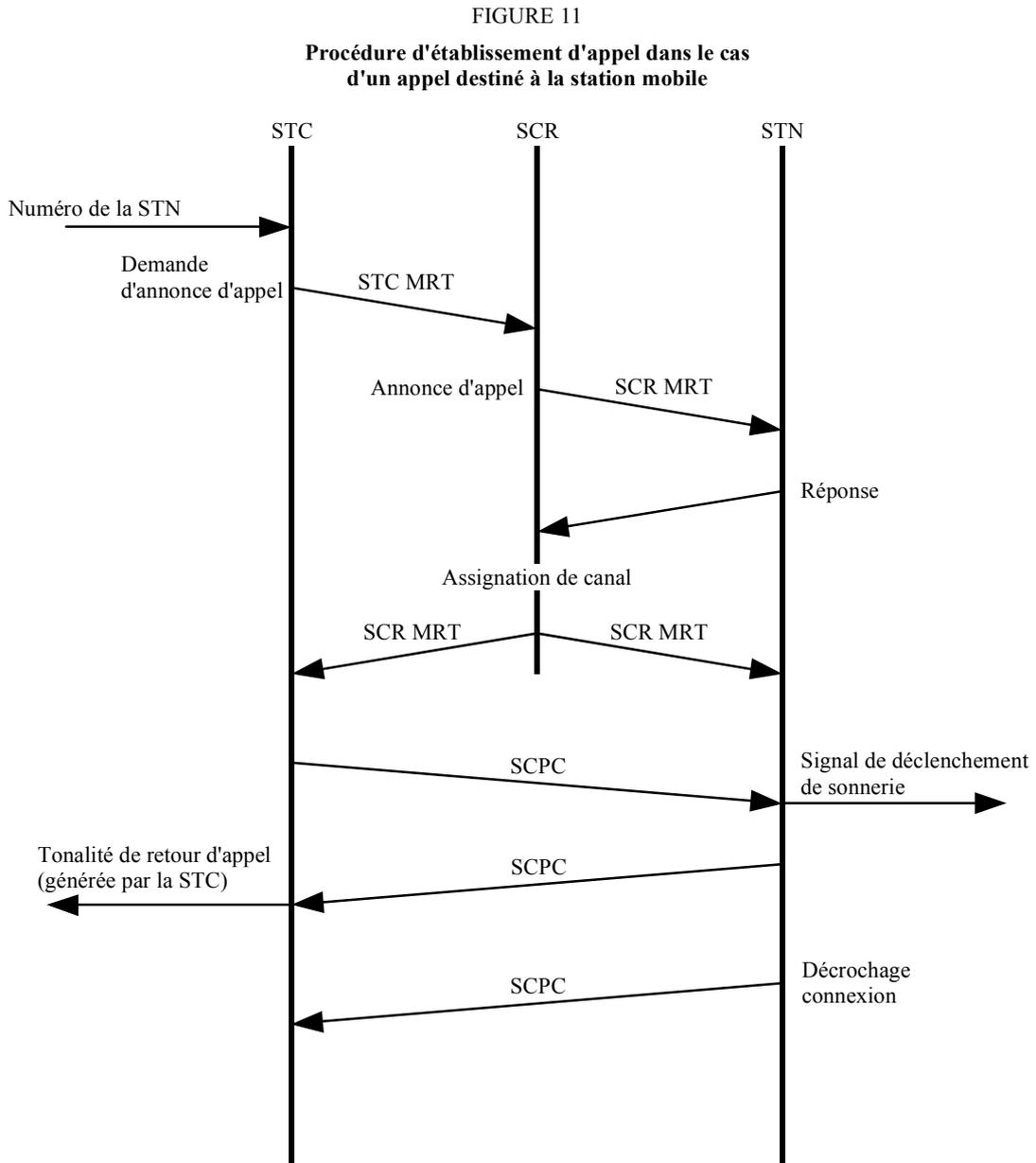
*Etape 2:* La SCR envoie un message d'annonce d'appel à toutes les STN se trouvant dans la région océanique concernée, et attend la réponse de la STN appelée.

*Etape 3:* Après avoir reçu cette réponse, la SCR envoie un message *assignation* à la STC et à la STN de destination.

*Etape 4:* Une fois que le message *assignation* est reçu par la STN et la STC, une liaison par satellite est établie entre ces stations.

*Etape 5:* Lorsque la communication est terminée, la STC en fait part à la SCR, qui annule l'assignation de la liaison par satellite.

La Fig. 11 représente cette séquence d'assignation de canal.



*Note:*

MRT: Porteuse MRT  
SCPC: Porteuse SCPC

#### 4.1.3.3 Gestion de la ressource satellite dans le SMS type non OSG

Comme indiqué au § 4.1.2.3, la demande totale de trafic que chaque faisceau ponctuel de satellite doit prendre en charge varie dynamiquement en fonction de l'emplacement de la zone de couverture du faisceau et en fonction de l'heure locale. Le satellite doit fournir suffisamment de capacité pour que chaque faisceau ponctuel puisse satisfaire la demande de trafic à chaque instant. A cet effet, une fonction de gestion est indispensable dans les systèmes du SMS type non OSG pour attribuer dynamiquement la largeur de bande nécessaire pour chaque faisceau, afin que le trafic demandé puisse être acheminé convenablement. La fonction de gestion de la ressource satellite doit satisfaire aux exigences suivantes:

- Chaque faisceau ponctuel reçoit une largeur de bande suffisante pour acheminer le trafic demandé.
- Une fréquence porteuse est affectée à chaque faisceau afin que les conditions de réutilisation des fréquences soient satisfaites. Le but est de respecter les critères requis pour éviter des brouillages inutiles dans le même canal.
- La puissance du répéteur du satellite doit être fournie à chaque faisceau ponctuel, pour permettre la transmission dans la largeur de bande attribuée.
- Une capacité suffisante peut être réservée pour un certain nombre de faisceaux ponctuels, afin d'assurer la transmission du trafic transféré, de préférence sans modification inutile des attributions de fréquences et/ou de créneaux temporels.

Compte tenu de ces exigences, la capacité du répéteur du satellite doit être réservée pour chaque faisceau ponctuel. Cette capacité constitue une réserve de canaux dans laquelle les STP peuvent effectuer des assignations de canaux pour les appels entrants et les appels à transférer.

#### 4.1.3.4 Commande d'assignation des canaux pour le SMS type non OSG

Dans un système du SMS non OSG, une STP effectue la commande d'assignation des canaux pour une capacité donnée du répéteur du satellite (réserve de canaux) à l'usage de chaque faisceau ponctuel. A l'intérieur de cette capacité, la STP effectue la commande d'assignation des canaux pour les demandes d'appel. S'il existe une multiplicité de passerelles dans la zone de couverture du satellite, il faut prévoir un mécanisme pour le partage de la réserve de canaux disponibles entre ces stations.

Dans un système du SMS type non OSG fonctionnant selon une extension de la technologie GSM, on applique généralement la procédure suivante pour l'assignation des canaux:

##### a) *Appel émanant de la station mobile*

*Etape 1:* La STP émet un message du canal de commande de diffusion (BCCH, *broadcast channel*) à destination d'un faisceau ponctuel responsable.

*Etape 2:* Un terminal mobile reçoit le message BCCH et effectue la synchronisation et la commande dans le réseau.

*Etape 3:* Un terminal mobile émet un message de demande de canal par l'intermédiaire d'un RACH défini sur la base du système ALOHA à segmentation temporelle.

*Etape 4:* Si le message de demande est bien reçu, sans collisions, par la station terrienne passerelle, celle-ci attribue un canal de liaison par satellite, par l'intermédiaire de l'AGCH à condition qu'un canal par satellite soit disponible. Sinon, le terminal mobile répète l'Etape 3.

*Etape 5:* Sur la base du message AGCH, une liaison par satellite est établie entre le terminal mobile et la STP.

b) *Appel destiné à la station mobile*

*Etape 1:* La STP émet un message BCCH à destination d'un faisceau ponctuel responsable.

*Etape 2:* Un terminal mobile reçoit le message BCCH et effectue la synchronisation et la commande dans le réseau.

*Etape 3:* S'il y a un appel entrant en provenance d'un réseau de Terre, la STP émet un message d'assignation de canal à l'intention d'un terminal mobile de destination, par l'intermédiaire d'un AGCH, à condition qu'un canal par satellite soit disponible.

*Etape 4:* Sur la base du message AGCH, une liaison par satellite est établie entre le terminal mobile et la STP.

#### **4.1.3.5 Diversité et transfert des satellites**

Les satellites d'un SMS type non OSG fonctionnent de façon extrêmement dynamique lorsque ces satellites et les terminaux mobiles se déplacent continuellement. En raison du mouvement des satellites, il n'est pas toujours facile de réaliser les conditions de visibilité directe d'un satellite à partir d'un terminal mobile, même si le mobile ne se déplace pas. En particulier, on a souvent des phénomènes de blocage et d'occultation dans les zones urbaines, principalement à cause de la présence de bâtiments élevés. Dans une situation de ce genre, on peut remédier de façon fiable à ces inconvénients en appliquant la technique de diversité de satellite, qui améliore la disponibilité en maintenant une liaison par satellite à l'aide de deux satellites visibles. Pour permettre l'application de cette technique, la commande d'assignation des canaux doit mettre en oeuvre une fonction d'établissement de liaisons par satellite vers les deux satellites visibles.

Le transfert est une autre fonction de commande importante: une liaison par satellite peut être attribuée lorsque la couverture d'un terminal mobile passe d'un faisceau ponctuel à un autre ou d'un satellite à un autre. Cette commande repose en général sur la procédure suivante.

*Etape 1:* Un terminal mobile surveille constamment l'intensité des signaux reçus en provenance du satellite. Si cette intensité tombe en dessous d'un seuil, le terminal envoie à la station passerelle une demande de transfert, par l'intermédiaire d'un canal de signalisation spécifique.

*Etape 2:* Lorsqu'elle reçoit la demande de transfert, la STP se met à la recherche d'un nouveau canal satellite disponible dans un faisceau ponctuel adjacent capable de prendre en charge le trafic à transférer. Elle assigne ensuite le nouveau canal au terminal mobile qui a demandé le transfert.

#### **4.1.3.6 Assignation des canaux et mesures antibrouillage**

**Système d'assignation dynamique des canaux en fonction de l'activité observée (DCAA, *dynamic channel activity assignment system*).**

Dans le cas des systèmes mini LEO, le processus d'assignation des canaux est le même que celui décrit dans la section précédente pour les systèmes super LEO, avec cette différence que le processus se déroule dans le satellite et non dans la STP. Cela est possible parce que les messages de données transportés par les mini LEO sont relativement courts; par ailleurs, cela est nécessaire parce qu'il doit y avoir une interaction étroite entre le système d'assignation des canaux et la STM, qui fonctionnent dans une bande de fréquences très encombrée.

La bande 148-149,9 MHz employée par les systèmes mini LEO est aussi largement utilisée par des systèmes de Terre. Pour trouver des canaux utilisables, un système mini LEO doit explorer et identifier, dans cette bande, des canaux qui ne sont pas activement utilisés à cet instant. Dans le système ORBCOMM, il existe un système d'assignation dynamique des canaux en fonction de l'activité observée (DCAAS) qui identifie les canaux utilisables et les met à disposition pour les transmissions des STM. On a là une forme de mise en oeuvre de ce qui est peut-être la plus ancienne technique d'antibrouillage dans les radiocommunications: «écouter» avant d'«émettre», pour s'assurer que le canal est libre. Ici, la différence réside dans le fait que c'est le satellite qui écoute avant d'autoriser une STM à émettre.

On ne connaît pas de mode opératoire qui permettrait à un système AMRF de fonctionner dans la bande 148-149,9 MHz sans avoir recours à un procédé tel que le DCAAS. Chaque fois qu'on essaie de recevoir dans un canal utilisé activement par un émetteur de Terre, on risque de causer des brouillages dans le satellite et de perdre des données du SMS.

Le DCAAS se compose d'un récepteur et d'une unité de traitement sur chaque satellite. Le système DCAAS effectue les opérations suivantes: exploration de la bande attribuée aux liaisons montantes du STM pour rechercher des transmissions de services de Terre, par intervalles de 2,5 kHz; identification des canaux non utilisés et assignations de ces canaux aux STM pour transmission sur les liaisons montantes. Le but est d'éviter les brouillages avec les récepteurs de Terre, brouillages qui empêcheraient les émissions des STM dans des canaux actifs du service mobile. Pour plus de renseignements sur le système DCAAS, on se reportera à la Recommandation UIT-R M.1039.

### **Signalisation**

Dans les systèmes du SMS (OSG ou non OSG/super LEO ou MEO), les liaisons par satellite sont généralement établies avec accès aléatoire. La transmission du message de signalisation (par exemple, une demande d'établissement d'une communication avec un numéro téléphonique d'un service terrestre – demande émanant du terminal mobile et destinée à la passerelle, ou demande d'assignation de fréquence pour permettre au terminal d'établir une communication – demande émanant de la passerelle et destinée au terminal mobile) ne s'effectue qu'après l'établissement de la liaison par satellite. En général, l'information de signalisation est échangée, entre une STM et une STP, par l'intermédiaire d'un canal de signalisation dans la bande, sur la liaison par satellite établie.

La signalisation entre l'abonné d'un système mini LEO et le satellite est tout aussi essentielle pour permettre un échange efficace de (données de) communication entre les deux. L'installation d'abonné doit aussi recevoir du satellite une information temporelle et une information sur les canaux disponibles; en effet, il faut avoir l'assurance que, quand le message de données de cette installation sera transmis, il sera reçu dans le satellite au moment et sur la fréquence appropriés, ce qui évitera des interférences avec d'autres signaux transmis dans le système. La signalisation est particulièrement importante dans le cas des systèmes mini LEO, car les fréquences des canaux de transmission des messages et de signalisation varient constamment sous l'effet du fonctionnement du système DCAAS.

## **4.2 Caractéristiques générales des STM**

L'aspect extérieur des STM peut varier considérablement selon la nature des éléments qui constituent les sous-systèmes utilisés. L'aspect est lié à des facteurs tels que les suivants: utilisation du terminal pour les services terrestre, maritime ou aéronautique, type de communications à établir, bande de fréquences de fonctionnement, architecture du système à satellites et caractéristiques souhaitées des antennes. C'est la combinaison de ces facteurs qui explique la grande diversité d'aspect des STM.

En revanche, les caractéristiques générales sont les mêmes pour toutes les STM. Les principaux sous-systèmes de ces stations et leurs fonctions spécifiques se répartissent comme suit:

– *Le sous-système d'antenne*

Ce sous-système se compose de l'antenne proprement dite, de sa monture et du dispositif de pointage de l'antenne. Le type d'antenne convenant le mieux à une application donnée peut varier: le choix peut aller d'une grande antenne à commande électrique (réflecteur parabolique ou réseau à commande de phase) jusqu'à une petite antenne telle qu'un doublet demi-onde, en passant par une antenne à gain moyen, par exemple une hélice.

Le choix de l'antenne est le résultat d'un compromis entre les exigences relatives au système (efficacité d'utilisation du secteur spatial) et les exigences de l'utilisateur (équipement compact). On a intérêt à utiliser une antenne à gain élevé, car on bénéficie alors d'une p.i.r.e. accrue, d'une plus grande sensibilité à la réception et d'une meilleure réduction du brouillage. Mais une telle antenne présente aussi l'inconvénient d'augmenter le prix et de réduire la portabilité du terminal. Une antenne à faible gain est plus économique, a une structure plus simple et peut fonctionner sans pointage du faisceau. Mais, en contrepartie, elle a besoin d'une p.i.r.e. plus forte sur la liaison descendante (la p.i.r.e. est une des caractéristiques les plus coûteuses d'un système du SMS) pour fournir un débit de données déterminé et, sa couverture étant équidirective, elle subit davantage de brouillages extérieurs.

Le choix d'un type d'antenne est encore influencé par un autre facteur: la question de savoir s'il faut prévoir la poursuite des satellites du SMS. La réponse à cette question ne dépend pas seulement du terminal (est-il en mouvement, ou non, à l'instant d'utilisation?) mais aussi du ou des satellites à poursuivre (est-il [sont-ils] en mouvement par rapport au terminal?). Les interactions entre ces deux mouvements peuvent entraîner des conditions de poursuite complexes. Pour cette raison, les terminaux du SMS type non OSG sont le plus souvent équipés seulement d'antennes équidirectives.

Les valeurs types du gain d'antenne dans le SMS sont comprises entre 0 dBi et 21 dBi (réflecteurs de 85 cm de diamètre). Quant au rapport gain du récepteur/température de bruit ( $G/T$ ), ses valeurs s'échelonnent en général entre  $-26 \text{ dB(K}^{-1})$  et  $-4 \text{ dB(K}^{-1})$ .

Dans les communications bidirectionnelles, l'antenne remplit généralement les fonctions d'émission et de réception. Ces fonctions utilisent le plus souvent des fréquences différentes (duplex à répartition en fréquence), un diplexeur étant utilisé pour combiner les deux chaînes dans la même alimentation d'antenne. Une autre solution consiste à utiliser un duplex à répartition dans le temps, dans le cas où des créneaux temporels différents sont attribués aux deux sens de transmission. Par ailleurs, compte tenu des forts effets de dépolarisation rencontrés dans les communications du SMS, on a rarement recours à la discrimination de polarisation sur la liaison de communication entre le satellite et le terminal mobile.

– *La chaîne d'émission*

Cette chaîne recouvre le trajet du signal émis et comprend les éléments suivants: amplificateurs à grande puissance, filtres passe-bande, combineurs pour l'exploitation multicanal, élevateurs de fréquence, modulateurs en bande de base et codeurs de la source. La chaîne d'émission comprend aussi d'autres éléments comme un étage de régulation dynamique de puissance et des circuits de commande par la voix.

– *La chaîne de réception*

Cette chaîne recouvre le trajet du signal reçu et comprend les éléments suivants: amplificateurs à faible bruit, filtres passe-bande, diviseurs multicanal, abaisseurs de fréquence, démodulateurs et décodeurs de la source.

– *Le sous-système d'alimentation en énergie*

L'alimentation en énergie est assurée par une batterie ou par une source à fonctionnement ininterrompu qui est rechargée par un équivalent du secteur électrique: un allume-cigare d'automobile, un générateur électrique ou des cellules solaires. Les caractéristiques de ce sous-système et les conditions auxquelles il doit satisfaire dépendent de l'application. Par exemple, pour les applications faisant appel à des appareils portables, le constructeur de terminaux réalisera des modèles légers consommant peu d'énergie. Dans les applications axées sur la sécurité, on s'attachera davantage à la protection contre les interruptions de l'alimentation et au rétablissement de l'énergie primaire.

– *Le sous-système de commande*

Ce sous-système abrite les diverses fonctions de commande, traitement des données, protocole et traitement des signaux, nécessaires pour un fonctionnement efficace du terminal.

#### **4.2.1 STM sur véhicules**

##### **Description générale des caractéristiques fonctionnelles**

Dans le SMS, les terminaux peuvent être montés sur des véhicules automobiles, des navires et des aéronefs. Comme ces véhicules sont susceptibles d'être en mouvement pendant le déroulement des communications, un certain nombre de considérations supplémentaires interviennent dans la conception et l'installation des terminaux.

L'antenne doit être montée à l'écart de tous obstacles sur le véhicule, afin d'empêcher une diminution de l'intensité des signaux. S'il s'agit d'une antenne directive (ayant normalement un gain supérieur à 6 dBi), il faut prévoir également un mécanisme de poursuite automatique du satellite du SMS. Cette opération peut être réalisée soit par rotation mécanique d'une antenne à faisceau fixe, soit par l'utilisation de faisceaux orientables ou commutables électroniquement dans le cas des antennes réseaux à commande de phase.

Le terminal proprement dit peut être divisé physiquement en deux parties: une unité externe hermétique composée du radôme qui abrite l'antenne, de l'étage frontal RF et, le cas échéant, du système de poursuite de l'antenne; et une unité interne, généralement placée près de l'opérateur, qui contient les autres appareils radiofréquence. Le plus souvent, les amplificateurs à faible bruit sont installés le plus près possible du diplexeur afin de réduire à un minimum le bruit causé par les pertes dans les guides d'alimentation.

##### **Stations terriennes de navire (STN) maritimes**

Certains terminaux du SMS ont été conçus pour être installés et fonctionner à bord de navires. C'est le cas, par exemple, des terminaux faisant partie du SMDSM, qui fonctionnent avec une grande disponibilité et qui satisfont à d'autres exigences de sécurité.

Les communications par satellite dans l'environnement marin se distinguent par des caractéristiques de propagation et d'exploitation spécifiques. Les communications maritimes sont particulièrement sensibles aux effets de la propagation par trajets multiples, en raison de la réflexion des signaux sur la structure des navires et sur la mer. Parmi les méthodes utilisées pour combattre ces effets, citons les procédés de modulation résistant aux évanouissements des signaux et à la dispersion entre symboles; et l'introduction, dans la conception de la liaison par satellite, d'une ample marge de protection contre les évanouissements – par régulation dynamique de la puissance. Il est possible de réduire cette marge à un minimum en pratiquant l'entrelacement des données et le codage de correction directe d'erreur.

On distingue trois types principaux de terminaux maritimes:

- Les terminaux équipés d'une antenne à faible gain (inférieur ou égal à environ 6 dBi), par exemple les terminaux Inmarsat Maritime-C. Ces systèmes sont caractérisés par des stations terriennes de navire très compactes équipées d'un sous-système d'antenne non stabilisé et non orientable.
- Les terminaux équipés d'une antenne à gain élevé (supérieur ou égal à environ 15 dBi), par exemple les terminaux Inmarsat Maritime-A et B. Ceux-ci doivent poursuivre les satellites du SMS pour neutraliser le roulis, le tangage et l'embarde des navires à bord desquels ils sont montés. Ils doivent être capables de pointer correctement leur antenne sur un satellite, même si la mer est forte.
- Les terminaux équipés d'une antenne à gain moyen (environ 6 à 15 dBi), par exemple les terminaux Inmarsat Maritime-M. Il s'agit de versions réduites des modèles avec antenne à gain élevé. Il existe un sous-ensemble de ces terminaux qui est conçu pour fonctionner exclusivement dans les zones de couverture des faisceaux ponctuels émanant des satellites OSG. Ces terminaux ont spécifiquement des antennes à grande ouverture de faisceau dans le plan d'élévation (plan vertical), de sorte qu'il leur suffit d'effectuer la poursuite du satellite dans le plan azimutal (horizontal). Ces systèmes se prêtent bien à l'utilisation à bord de bateaux de plaisance, car ils sont moins encombrants, moins coûteux et plus simples que leurs homologues à stabilisation intégrale.

### **Stations terriennes d'aéronef**

Tout comme les terminaux maritimes, les terminaux d'aéronef doivent satisfaire à des exigences élevées en matière de performance, de disponibilité et d'intégrité des communications. Parmi les caractéristiques spécifiques des systèmes aéronautiques, on citera: la nécessité d'absorber de grands décalages de fréquence par effet Doppler et de grandes variations de température; la nécessité d'une conception ergonomique des éléments extérieurs du sous-système d'antenne, afin de réduire la traînée atmosphérique à un minimum; et la nécessité d'avoir des appareils radioélectriques internes compacts, pouvant être logés dans les volumes qui leur sont affectés à bord de l'aéronef.

L'intégration des terminaux avec les autres systèmes électroniques de bord sera vraisemblablement beaucoup plus poussée que ce n'est le cas pour les terminaux des systèmes terrestres ou maritimes. Par ailleurs, il existe depuis peu une catégorie de terminaux aéronautiques conçus exclusivement pour des communications de correspondance publique; ces appareils n'ont pas la certification pour la sécurité aéronautique ni pour l'utilisation avec les systèmes de gestion du trafic aérien. Ces terminaux, qui fonctionnent par exemple dans le service Aero Mini-M d'Inmarsat, conviennent bien à l'utilisation dans les aéronefs légers, pour un certain nombre de raisons: ils sont peu encombrants, de prix plus modique, et les procédures d'installation et de certification sont beaucoup moins lourdes que pour les terminaux conformes aux consignes de sécurité.

Les terminaux utilisés dans le SMAS sont généralement équipés d'un des trois types d'antenne suivants:

- Antennes à gain élevé (gain minimum 12 dBi), par exemple celles du service Inmarsat Aero-H/H+. Ces antennes étant directives, elles doivent poursuivre le satellite.
- Antennes à gain moyen, par exemple celles du service Inmarsat Aero-I. Ces antennes tirent parti de la puissance (plus grande) des faisceaux ponctuels des satellites d'Inmarsat-3, pour la réception des niveaux du service Aero-H sur terminaux plus petits et moins coûteux.
- Antennes à faible gain, par exemple celles du service Inmarsat Aero-L. Ces antennes sont des doublets ou des hélices non orientables et leur gain est quasi équidirectif.

## **STM terrestres**

Dans le service mobile terrestre, la liaison de communication établie entre le satellite et le terminal mobile subit des dégradations dues aux effets de propagation par trajets multiples provoqués par la diffusion et les réflexions des signaux, et aux effets d'occultation imputables au blocage des signaux. Il en résulte des évanouissements du signal et des variations de phase de la porteuse, dont la valeur dépend de plusieurs facteurs: le terminal est-il immobile ou en mouvement? la vitesse à laquelle il se déplace, et la nature du milieu compris entre le terminal et le satellite. Il est possible de réaliser la liaison avec une marge suffisante pour compenser les évanouissements, ou pour obtenir une certaine pénétration du signal dans les bâtiments. Cependant, il n'est pas rationnel, dans les communications du SMS, de réaliser une marge suffisante pour pouvoir continuer à communiquer lorsque la ligne de visibilité directe de la liaison est bloquée par des bâtiments ou par une épaisse végétation.

Dans les applications véhiculaires, l'antenne est généralement placée sur le toit et son gain est le plus souvent faible ou moyen (inférieur à 15 dBi). On a alors, dans la plupart des cas, une antenne à profil bas fonctionnant avec poursuite motorisée, ou une antenne fouet d'environ un mètre de haut, sans système de poursuite, donnant une couverture équidirective en azimut et une couverture fixe en élévation (antenne adaptée aux régions à climat tempéré).

### **4.2.2 Stations terriennes personnelles**

Il existe deux catégories de stations terriennes personnelles: les stations de poche et les stations portables.

#### **Stations terriennes de poche**

Les terminaux de poche utilisés dans le SMS sont semblables, en dimensions et en aspect extérieur, aux téléphones cellulaires utilisés dans les services de Terre. En fait, ces terminaux sont le plus souvent des téléphones bimode capables de communiquer avec le réseau à satellite ou avec les réseaux mobiles de Terre. Lorsqu'un appel est lancé, il est tout d'abord acheminé dans le réseau mobile de Terre local. Toutefois, si le terminal se trouve en dehors de la zone de couverture d'une station du réseau de Terre, l'appel est ensuite acheminé par le réseau mobile par satellite. Ce mode d'exploitation permet aux téléphones du SMS de compléter l'infrastructure du service mobile de Terre par une extension régionale ou mondiale de sa zone de couverture. Ces terminaux ont une caractéristique importante: on leur attribue un numéro téléphonique unique qui est valable à la fois pour la réception des appels passant par le satellite et pour celle des appels transmis par le réseau cellulaire de Terre. En général, le fonctionnement des terminaux nécessite la visibilité directe avec le satellite (qui peut être OSG ou non OSG). Hormis cela, leur utilisation est identique à celle des appareils en service dans les réseaux cellulaires de Terre.

#### **Stations terriennes portables**

Ces stations sont des unités autonomes contenues dans un coffret ayant à peu près les dimensions d'un ordinateur portatif. L'antenne est généralement incorporée au couvercle et doit être pointée manuellement sur un satellite OSG (manoeuvre rapide et facile). En général, le terminal contient un mesureur de signaux qui facilite le pointage. Ces terminaux constituent la solution idéale pour les applications du «bureau mobile» car ils fournissent une grande variété de services, depuis la téléphonie jusqu'à la transmission de données à 64 kbit/s.

### **4.2.3 RLS par satellite**

Les RLS par satellite ont pour fonction de transmettre aux services de secours des alertes de détresse dans les situations d'urgence. Elles doivent accomplir deux fonctions: la transmission de l'alerte de détresse initiale aux autorités compétentes et la localisation géographique du lieu de

détresse avec une précision suffisante pour permettre l'intervention des secours. Les RLS peuvent être installées sur des mobiles tels que des avions et des navires, ou être portées par des personnes. Par ailleurs, la loi stipule que des RLS capables de surnager librement doivent être embarquées à bord de tous les navires auxquels s'applique la Convention SOLAS.

Il existe deux types de RLS par satellite. Le premier fonctionne dans le système COSPAS-SARSAT, avec une série de balises servant à l'alerte de détresse et à la détermination des positions, y compris pour le système SMDSM. L'autre type de RLS est utilisé par Inmarsat, qui porte ses efforts sur la mise en oeuvre d'une capacité SMDSM exclusivement à bord des navires. Les deux services sont fournis à titre gratuit par les opérateurs. On trouvera ci-après la description des deux systèmes.

#### 4.2.3.1 COSPAS-SARSAT

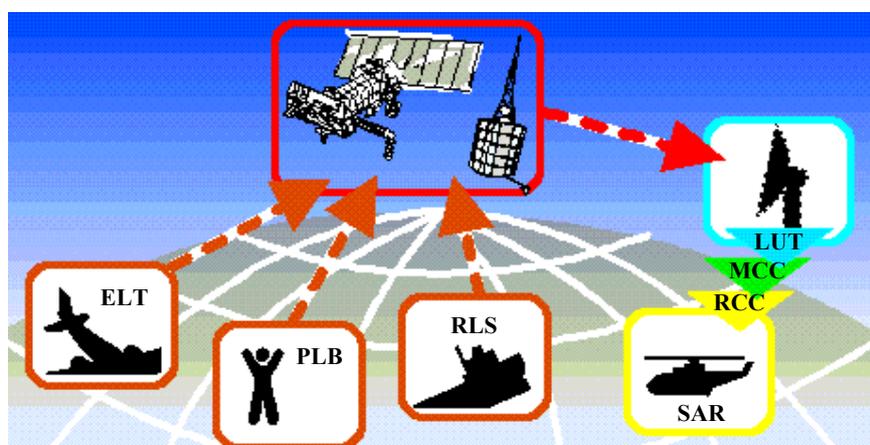
COSPAS-SARSAT est un système à satellites à vocation de recherche et sauvetage (SAR, *search and rescue*). Les satellites transportent des détecteurs qui, associés à des installations de traitement au sol, détectent et localisent des radiobalises émettant des signaux de détresse dans des situations d'urgence. Le système se compose des éléments suivants:

- a) des équipements SAR embarqués dans des satellites sur orbite terrestre basse (LEOSAR) et des satellites OSG (GEOSAR);
- b) des balises de détresse émettant sur 121,5; 243 ou 406 MHz;
- c) des stations au sol recevant les signaux des satellites (terminaux d'utilisateurs locaux: LUT, *local user terminals*) réparties dans le monde entier; et
- d) un vaste réseau de commande, contrôle et communication qui diffuse l'information d'alerte de détresse et les données nécessaires pour le fonctionnement du système.

Le schéma de la Fig. 12 donne une vue d'ensemble très générale du système COSPAS-SARSAT. On trouvera une description plus détaillée dans le document COSPAS-SARSAT intitulé «Introduction to the COSPAS-SARSAT System C/S G.003», disponible gratuitement sur le site web COSPAS-SARSAT, à l'adresse Internet: <http://www.cospas-sarsat.org/>.

FIGURE 12

Vue d'ensemble du système COSPAS-SARSAT



ELT: Emetteur de localisation d'urgence  
PLB: Balise de localisation personnelle  
RCC: Centre de coordination des secours

## **Satellites**

Les éléments spatiaux du système COSPAS-SARSAT sont des équipements SAR embarqués dans des satellites gravitant sur des orbites polaires LEOSAR et dans des satellites OSG GEOSAR. L'association de ces deux types de satellites donne une grande capacité d'alerte et de localisation. Les satellites sur orbite polaire fournissent une couverture mondiale, mais discontinue, pour la détection et la localisation des balises par application des techniques Doppler. Toutefois, le caractère discontinu de la couverture est cause de retards dans l'alerte car l'utilisateur doit «attendre» le passage d'un satellite en vue de la balise. De leur côté, les satellites OSG permettent une détection rapide mais sont incapables de couvrir les régions polaires. De plus, comme ces satellites sont fixes par rapport à la balise, il est impossible d'utiliser les techniques de localisation Doppler; de ce fait, on ne dispose de l'information de localisation que si la balise connaît sa position et émet les données correspondantes.

La constellation LEOSAR nominale se compose de deux satellites Sarsat et de deux satellites Cospas, mais le secteur spatial comporte généralement un plus grand nombre d'engins. Les satellites Cospas transportent des appareils qui sont capables de détecter et de localiser des radiobalises de détresse émettant sur 121,5 et 406 MHz et les satellites Sarsat font de même pour des émissions sur 121,5; 243 et 406 MHz. Avec les balises fonctionnant à 121,5 MHz et 243 MHz, il faut que le satellite soit vu simultanément par la balise et par la station de réception des signaux du satellite pour que le système puisse émettre une alerte de détresse. En conséquence, la couverture géographique, dans ces bandes de fréquences, dépend du nombre et de l'emplacement de ces stations de réception. Toutes les charges utiles LEOSAR comprennent des appareils de traitement des messages de recherche et de sauvetage, ainsi que des modules de mémoire qui traitent les émissions des balises sur 406 MHz. Avec un tel système, on obtient une couverture mondiale en stockant les données fournies par le traitement à bord des signaux de balise à 406 MHz par le module de mémoire, dont le contenu est diffusé sans interruption sur la liaison descendante du satellite. Cela étant, chaque balise 406 MHz peut être détectée par toutes les stations terriennes qui effectuent la poursuite du satellite.

Les charges utiles GEOSAR du système COSPAS-SARSAT sont installées dans des satellites de météorologie et des satellites de télécommunication polyvalents. Elles permettent l'alerte quasi instantanée à partir des émissions de radiobalises de détresse sur 406 MHz, mais leur appareillage n'est pas capable de détecter les radiobalises 121,5 ou 243 MHz. Les satellites GEOSAR étant fixes par rapport à la Terre, il n'y a pas d'effet Doppler sur la fréquence reçue, d'où impossibilité d'utiliser les techniques de radiolocalisation Doppler. Le système GEOSAR peut fournir l'information de position de la balise dans le cas où cette information est acquise par la balise par l'intermédiaire d'un dispositif de navigation interne ou externe et codée dans l'émission de la balise.

### **Les balises de détresse**

Les appareils embarqués sur les satellites du système COSPAS-SARSAT sont compatibles avec les balises de détresse émettant sur les fréquences indiquées plus haut. Les balises fonctionnant sur 406 MHz sont conçues spécialement pour être détectées et localisées par le système COSPAS-SARSAT. Lorsqu'une de ces balises est activée, elle émet un message numérique qui est spécifique à cette balise. Il existe deux grandes catégories de balises 406 MHz: celles qui permettent la transmission de données de position codées acquises à partir de systèmes mondiaux de navigation par satellite, ces données étant accompagnées de l'identification de la balise (c'est la catégorie des balises dites à protocole de localisation); et les balises qui émettent uniquement leur identification (balises à protocole d'utilisateur). S'agissant des balises de la seconde catégorie, le système COSPAS-SARSAT LEOSAR est capable de déterminer leur position par application des techniques de radiolocalisation Doppler; quant au système GEOSAR, il peut fournir un avertissement disant

que la balise a été activée, mais sans information de localisation. Dans le cas des balises à protocole de localisation, les systèmes LEOSAR et GEOSAR fournissent l'un et l'autre l'information de localisation. Les caractéristiques électriques des radiobalises de détresse 406 MHz sont spécifiées en détail dans la Recommandation UIT-R M.633 – Caractéristiques de transmission d'un système de radiobalises de localisation des sinistres par satellite (RLS par satellite) fonctionnant par l'intermédiaire d'un système à satellites sur orbite polaire basse dans la bande des 406 MHz.

Les balises 121,5 et 243 MHz font partie d'une génération plus ancienne, qui n'était pas conçue pour la détection à l'aide de satellites. Aussi, bien qu'elles soient détectées et bien que leurs signaux soient traités par le système COSPAS-SARSAT, elles ne possèdent pas toutes les caractéristiques propres aux balises 406 MHz. Par exemple, elles n'émettent pas un identificateur spécifique et leur puissance d'émission est nettement plus faible.

### **Les stations de réception des signaux des satellites**

Le système COSPAS-SARSAT comporte deux types généraux de stations de réception des signaux des satellites: d'une part, des stations qui sont en interface avec des satellites gravitant sur des LEO (appelées terminaux d'utilisateurs locaux LEOSAR, ou terminaux LEOLUT); d'autre part, des terminaux qui reçoivent et traitent les signaux fournis par les satellites GEOSAR (terminaux GEOLUT). Les LUT ont pour fonction de générer des messages de détresse obtenus après traitement des signaux transmis sur la liaison descendante des satellites. En implantant des stations LEOLUT en de nombreux points de la surface terrestre, on accroît l'étendue de la zone de couverture locale, la rapidité de réaction et le degré de redondance du système COSPAS-SARSAT.

### **Centres de contrôle des missions**

Le système COSPAS-SARSAT comprend un réseau de centres de contrôle des missions (MCC, *mission control centres*) les centres étant interconnectés par des systèmes de communication à redondance. Les principales fonctions de ce réseau sont les suivantes:

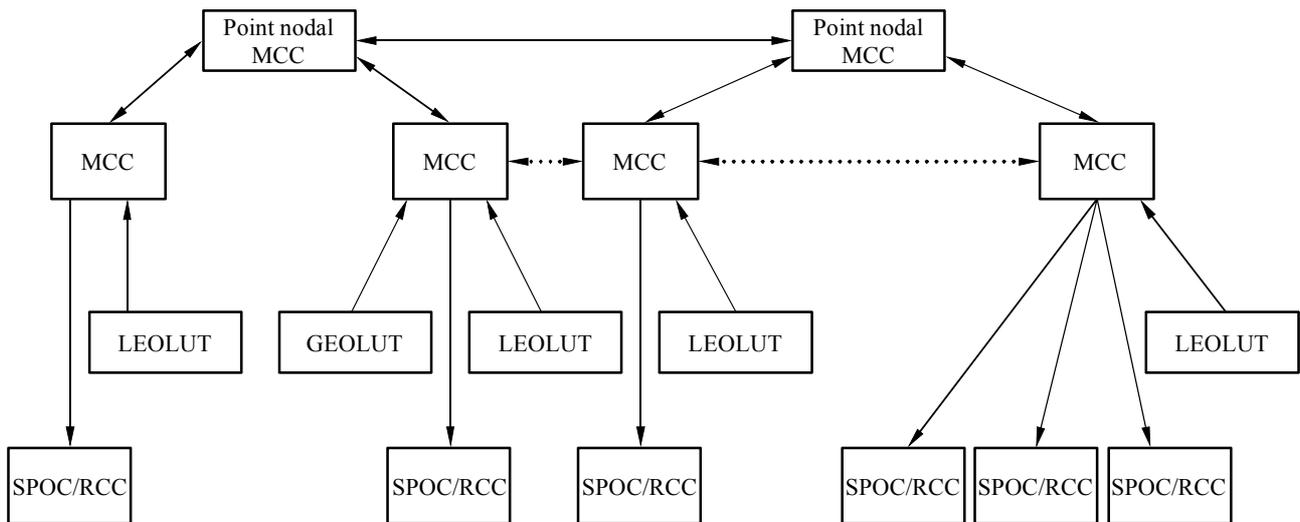
- recevoir les messages d'alerte de détresse en provenance des terminaux LUT et d'autres MCC, et les diffuser aux autorités chargées des opérations de recherche et de sauvetage (points de contact pour les recherches et le sauvetage, ou SPOC: *search and rescue points of contact*); et
- diffuser l'information sur l'état de fonctionnement du système, nécessaire pour un fonctionnement efficace.

Afin d'assurer une diffusion stable, dans les délais voulus, de l'information d'alerte et de localisation aux autorités compétentes chargées des recherches et des secours, on a adopté dans le système COSPAS-SARSAT une infrastructure de commande, contrôle et communication caractérisée par une hiérarchie de stations: MCC nodaux, MCC, LUT et SPOC. Cette structure, représentée par la Fig. 13, permet aussi aux administrations de conclure des accords bilatéraux régissant l'échange direct, de MCC à MCC, de l'information d'alerte (échange figuré par les lignes pointillées).

### **Renseignements additionnels**

On peut obtenir des renseignements additionnels sur le système COSPAS-SARSAT, notamment les spécifications techniques et la description des éléments constitutifs du système, en visitant le site web COSPAS-SARSAT, adresse Internet: <http://www.cospas-sarsat.org/>. Les questions peuvent être adressées au secrétariat de COSPAS-SARSAT à l'adresse courrier électronique: [cospas\\_sarsat@imso.org](mailto:cospas_sarsat@imso.org).

FIGURE 13  
Infrastructure du système COSPAS-SARSAT



MSS-13

#### 4.2.3.2 Inmarsat-E

Les émissions des RLS d'Inmarsat-E dans le sens Terre vers espace se font sur des fréquences voisines de 1,6 GHz, dans une partie de la bande réservée aux communications de détresse et de sécurité. Les équipements comprennent un récepteur de radionavigation intégré qui coopère avec le système mondial de radiopérage (GPS, *global positioning system*) pour déterminer la position des RLS avec une précision de 200 m. Lorsqu'une RLS est activée, l'information est transmise, via un ou plusieurs satellites Inmarsat, à deux stations terriennes terrestres Inmarsat (redondance) où elle déclenche une alarme qui sera retransmise automatiquement aux services de sauvetage.

Les RLS Inmarsat-E se présentent sous la forme de terminaux insubmersibles (analogues à des bouées) ou de terminaux portables. Les modèles insubmersibles ont leur place à bord des grands navires. Pour plus de sécurité, beaucoup de ces RLS sont installées sur la passerelle du navire à côté d'appareils indicateurs qui renseignent sur la situation générale et la position d'après les données fournies par la RLS. Les RLS portables peuvent être utilisées avantageusement à bord des yachts, des canots de sauvetage et autres petites unités. Les RLS peuvent être déclenchées manuellement par l'utilisateur ou, dans le cas des terminaux insubmersibles, automatiquement lorsqu'elles flottent. Le message contient, au minimum, l'identité du terminal et sa position à l'instant de l'alerte. Les membres de l'équipage peuvent, en appuyant sur une touche, inclure d'autres renseignements sur la nature du cas de détresse.

L'avantage majeur des RLS qui communiquent avec des satellites OSG est que l'alerte est détectée presque instantanément (en général, dans les deux minutes qui suivent le début de l'émission). Une fois déclenchés, les terminaux Inmarsat-E continuent à émettre selon un schéma intermittent prédéterminé pendant au moins 48 h, s'ils ne sont pas coupés manuellement. Les satellites Inmarsat peuvent détecter les alertes provenant de navires situés entre les latitudes approximatives 70° N et

70° S. Parmi les autres caractéristiques des RLS Inmarsat-E, citons un émetteur d'impulsions lumineuses très intenses à faible coefficient d'utilisation et une fonction interne d'essai automatique. Dans certains modèles, on a aussi la possibilité d'inclure une balise à répondeur radar pour les recherches et le sauvetage, ou des balises de radioralliement fonctionnant sur 121,5 MHz. Ces équipements permettent aux secours de localiser le navire une fois qu'ils sont arrivés dans la zone de la position signalée.

#### **4.2.4 STM spéciales**

Deux applications n'ont pas été évoquées dans les considérations qui précèdent: d'une part, les terminaux de messagerie et de recherche de personnes, d'autre part, les applications semi-fixes.

Les terminaux de messagerie et de recherche de personnes sont conçus pour recevoir, peu fréquemment, des paquets de messages de données courts. Dans le cas idéal, ces terminaux signalent, au moyen d'un canal de retour, que les données ont été bien reçues. Il s'agit de terminaux légers, peu encombrants, relativement bon marché, qui sont équipés d'une antenne équidirective. Quelques opérateurs de systèmes mobiles ont prévu, dans la conception des liaisons de leurs systèmes, de très grandes marges (10 à 15 dB et plus), pour permettre la réception dans les bâtiments et dans d'autres situations où l'on n'a pas la visibilité directe.

Il existe une variante des terminaux de recherche de personnes: les terminaux conçus pour la messagerie bidirectionnelle. Ceux-ci sont particulièrement utiles quand ils sont intégrés à des systèmes qui traitent des données de repérage. Cette catégorie de terminaux mobiles contient des systèmes fonctionnant dans les bandes 12/14 GHz, avec utilisation des techniques d'étalement du spectre (servant principalement à éviter de causer des brouillages à d'autres services qui utilisent la même bande) et utilisation d'antennes directives pour la poursuite des satellites.

Citons une autre catégorie de terminaux mobiles spéciaux, les terminaux semi-fixes, destinés à l'utilisation dans les zones reculées. Ils se présentent sous des formes différentes: cabines téléphoniques classiques à prépaiement, appareils pour installation chez les particuliers ou réseaux locaux à ressources partagées.

### **4.3 Caractéristiques générales du secteur spatial du SMS**

Le secteur spatial est constitué par les satellites et par les charges utiles de communication nécessaires pour relier les utilisateurs mobiles aux stations terriennes des liaisons de connexion, ou directement à d'autres utilisateurs mobiles. Les satellites peuvent être soit OSG, soit non OSG. Ces derniers sont placés, en majorité, sur des orbites circulaires, à des altitudes très inférieures à celle de l'orbite OSG. Le choix des caractéristiques orbitales est un facteur extrêmement important dans la conception de la liaison par satellite; il influe sur de nombreuses autres caractéristiques, par exemple le nombre de satellites constituant la constellation, l'affaiblissement sur le trajet allant du satellite aux terminaux utilisateurs et le type des stations terriennes nécessaires sur les liaisons de connexion.

D'autres caractéristiques du secteur spatial ont trait à la conception du système de télécommunication. Exemples: le signal est-il démodulé dans les satellites avant la retransmission? absence ou non de liaisons inter-satellites; nombre et dimensions des faisceaux d'antenne des satellites; dimensions des panneaux de cellules solaires déployés (dont dépend la quantité d'énergie électrique disponible). Par ailleurs, à la différence de ce qui se passe dans le secteur terrien, on utilise généralement dans le secteur spatial des antennes distinctes pour l'émission et la réception, afin de ne pas augmenter, à la réception, le nombre de produits d'intermodulation générés dans le satellite.

#### 4.3.1 Systèmes à satellites du SMS, type OSG (internationaux et nationaux)

Il existe actuellement dans le SMS de nombreux systèmes à satellites OSG en exploitation ou en projet. Ce sont les réseaux à satellite des organisations suivantes: ASC (AMSC), AUSSAT (OPTUS), CELSAT, EMARSAT (THURAYA), GARUDA (ACeS), INMARSAT, ITALSAT, MARAFON, MARECS/ARTEMIS (ESA), MEASAT, MORE, MSAT (TMI), MTSAT, N-STAR, SOLIDARIDAD, COSPAS-SARSAT GEOSAR et VOLNA.

La plupart de ces systèmes exploitent leurs liaisons radioélectriques pour les communications entre les satellites et les terminaux mobiles (liaisons de service) dans les bandes 1,5/1,6 GHz attribuées au SMS; les liaisons servant aux communications entre les satellites et les stations terriennes passerelles (liaisons de connexion) sont assurées dans les bandes 4/6 GHz attribuées au SFS, ou 10-12/13-14 GHz et 20/30 GHz également attribuées au SFS. Par exemple, les signaux en provenance des stations terriennes de liaison de connexion émettant (Terre vers espace) dans les bandes des 6 GHz ou des 14 GHz sont reçus par le satellite, puis retransmis (espace vers Terre) dans la bande des 1,5 GHz à destination des terminaux mobiles. En sens inverse, les signaux émis par les terminaux mobiles sont transmis sur la liaison montante dans la bande des 1,6 GHz, reçus par le satellite et retransmis sur les liaisons descendantes dans les bandes des 4 GHz ou des 10-12 GHz pour réception par les stations terriennes des liaisons de connexion. Quelques systèmes OSG du SMS exploitent aussi des liaisons de service dans les bandes 2,5/2,6 GHz et d'autres systèmes sont en projet dans les parties de la bande des 2 GHz attribuées au SMS.

On a aussi des systèmes à satellites dans lesquels des répéteurs fonctionnant avec croisement des liaisons de connexion permettent l'opération suivante: les signaux reçus sur les fréquences des liaisons de connexion montantes (par exemple, 6 ou 14 GHz) peuvent être retransmis directement sur les fréquences des liaisons de connexion descendantes (par exemple, 4 ou 10-12 GHz). Ce mode d'exploitation facilite l'interconnexion administrative interne dans le système, sans avoir à utiliser le spectre (limité) qui est réservé aux liaisons de service. De même, il existe des systèmes dotés de répéteurs fonctionnant avec croisement des liaisons de service qui permettent des communications à un seul bond de mobile à mobile, et utilisables dans des applications spéciales telles que les opérations de recherche et de sauvetage.

Les antennes des satellites géostationnaires du SMS peuvent être mises en oeuvre avec un faisceau «mondial» unique couvrant toute la partie de la surface terrestre qui est visible depuis le satellite, ou avec plusieurs faisceaux ponctuels, plus étroits, qui concentrent l'énergie sur des régions délimitées. Pour la couverture par faisceau mondial, on utilise en général des antennes dont le gain maximum est compris entre 0 dBi et environ 20 dBi. Pour les faisceaux ponctuels, le gain maximum réalisable dépend dans une certaine mesure des évolutions technologiques contemporaines de la conception des systèmes, et de considérations d'ordre économique. Les gains s'échelonnent entre environ 27 dBi dans les systèmes utilisant 5 ou 6 faisceaux ponctuels qui couvrent chacun une région de la taille d'un continent et environ 44 dBi pour les systèmes les plus modernes du SMS, en cours de conception, qui peuvent avoir des centaines de faisceaux ponctuels. Les systèmes à faisceaux ponctuels ont généralement des caractéristiques de haute technologie, par exemple la répartition, entre plusieurs faisceaux, de la puissance fournie par le satellite, ou des combinaisons faisceaux ponctuels/faisceau mondial. Par ailleurs, dans certains systèmes modernes à faisceaux ponctuels en cours d'étude, les satellites en orbite auront la possibilité de moduler leur zone de couverture. Cette caractéristique permettra, par exemple, de compenser l'effet produit, sur la zone de couverture d'un faisceau ponctuel, par le mouvement de satellites OSG fonctionnant avec un grand angle d'inclinaison; cela permettra aussi d'adapter la couverture à l'évolution du trafic.

A noter qu'actuellement la tendance, dans les réseaux OSG du SMS, est à l'utilisation de répéteurs «transparents», qui se contentent d'amplifier et de retransmettre les signaux sans démodulation dans la bande de base et sans régénération. On obtient ainsi une souplesse maximale en ce qui concerne le type de trafic pouvant être écoulé compte tenu des contraintes imposées par les filtres de découpage en canaux et par le spectre coordonné disponible.

#### **4.3.1.1 Choix des positions orbitales**

Les satellites OSG sont placés à une altitude d'environ 36 000 km au-dessus de l'équateur, où ils demeurent pratiquement immobiles par rapport à la Terre. L'intérêt de cette orbite OSG réside dans le fait qu'il est inutile, ou presque, de procéder à des transferts entre les faisceaux des satellites ou entre les satellites eux-mêmes. De plus, l'utilisation d'antennes directives dans les terminaux mobiles est plus facile dans les systèmes OSG que dans les systèmes non OSG, d'où amélioration des marges de liaison et plus grande facilité de mise en oeuvre de services à grand débit binaire.

Parmi les autres avantages des satellites OSG, citons les conditions favorables concernant les procédures d'exploitation, la conception des systèmes, la coordination des fréquences et le contexte de réglementation. Par ailleurs, il suffit d'un nombre limité de ces satellites pour obtenir une zone de couverture donnée, ce qui permet de réduire les dépenses de lancement et le coût du secteur terrien. Par exemple, un satellite unique peut donner une couverture régionale et 3 ou 4 satellites suffisent pour avoir la couverture mondiale. De surcroît, la couverture peut être modelée pour s'adapter à des régions particulières de la surface terrestre, par exemple aux masses continentales seulement.

Les satellites OSG ont toujours été de gros engins (masse supérieure à 2 000 kg) et leur durée de vie nominale peut être longue (15 ans ou plus). En fin de vie, on les transfère généralement sur une orbite plus élevée, afin de libérer un volume spatial précieux et limité sur l'OSG (longitudes des positions orbitales notifiées à l'UIT) dans le plan équatorial.

#### **4.3.2 Satellites non OSG**

Les systèmes non OSG du SMS qui sont en exploitation, ou sur le point de l'être, sont les suivants: ICO, IRIDIUM, GLOBALSTAR, COSPAS-SARSAT LEOSAR et ORBCOMM. D'autres systèmes encore font actuellement l'objet d'études techniques et d'études de financement.

On distingue deux catégories dans ce groupe de systèmes: les systèmes super LEO qui fournissent des services vocaux et de transmission de données, et les systèmes mini LEO pour services de messagerie seulement. Les super LEO ont pour la plupart leurs liaisons de service dans les bandes des 1,6 GHz, 2,5 GHz ou 2 GHz, et leurs liaisons de connexion dans les bandes 5/7 GHz ou 20/30 GHz. Les systèmes mini LEO utilisent pour la plupart les bandes 137-138 MHz, 148-150 MHz et 400 MHz à la fois pour les liaisons de service et pour les liaisons de connexion. Les débits de données fournis actuellement par les systèmes non OSG sont compris entre 2,4 kbit/s et 9,6 kbit/s.

L'architecture systémique adoptée pour les divers réseaux des systèmes non OSG varie d'un réseau à un autre. L'architecture s'entend des applications mises à disposition, des fréquences disponibles sur les liaisons de connexion et de service, des exigences en matière de capacité de trafic et des décisions prises par les opérateurs des systèmes quant à la conception technique.

Par exemple, la conception du réseau à satellite Iridium repose sur le traitement embarqué (démodulation et régénération des signaux dans les satellites) et sur la possibilité de commuter et d'acheminer les appels entre les satellites par l'intermédiaire de liaisons inter-satellites. Ces fonctions exigent la mise en oeuvre de technologies et d'études de développement de pointe en matière satellitaire. Comparé à cela, le réseau à satellites Globalstar fonctionne avec des répéteurs simples, changeurs de fréquence, et avec accès multiple par répartition en code (AMRC). On a ainsi des satellites à architecture plus simple, avec relativement peu de traitement embarqué. En revanche, la contrepartie est une architecture et une structure plus développées au sol, et la mise en oeuvre de nouvelles techniques de conception, par exemple une régulation de puissance précise par les combinés pour réduire l'autobrouillage, et des techniques pour faciliter la commutation des faisceaux et le transfert des satellites.

Les satellites non OSG présentent un avantage qui leur est propre: comme ils ont un mouvement relatif par rapport à l'utilisateur, il est possible de leur incorporer une fonction intrinsèque de détermination des positions par la mise en oeuvre de techniques de pseudo-détection sans avoir à inclure des récepteurs de radionavigation tels que GPS dans leurs terminaux. Toutefois, le recours à ce procédé ne permet pas forcément d'obtenir la précision du système GPS.

#### **4.3.2.1 Choix des caractéristiques des constellations**

Les satellites non OSG sont généralement placés sur des orbites circulaires, à des altitudes très inférieures à celle des satellites OSG. Grâce à cela, on a un affaiblissement moins important sur le trajet aboutissant au terminal mobile (de 11 dB à au moins 30 dB au-dessous de l'affaiblissement rencontré dans les systèmes OSG), ainsi que des temps de propagation nettement plus courts.

Les satellites non OSG sont généralement mis en orbite à des altitudes supérieures à 200 km, ce qui permet de les protéger contre le phénomène de la traînée atmosphérique et de les placer à l'écart des ceintures de Van Allen, zones de forte radiation naturelle centrées autour des altitudes d'environ 3 200 km et 7 600 km au-dessus de la surface terrestre. Le choix de l'orbite dépend alors de la zone de couverture du satellite. Celle-ci est d'autant plus étendue que l'altitude du satellite est plus grande. En conséquence, on a besoin de moins de satellites dans une constellation pour obtenir une couverture mondiale ininterrompue, et de transferts moins fréquents entre les faisceaux, les vitesses étant plus petites. En revanche, avec des satellites évoluant à grande altitude, on a un affaiblissement de trajet et un temps de propagation plus importants jusqu'aux terminaux mobiles.

Le choix du nombre des satellites d'une constellation dépend aussi de l'étendue du chevauchement nécessaire entre les empreintes des faisceaux des satellites. Avec un grand chevauchement, les terminaux mobiles ont des chances de voir un plus grand nombre de satellites (ce qui permet de fonctionner avec diversité de trajet et redondance de satellites), avec en moyenne un plus grand angle d'élévation des satellites. Toutefois, un chevauchement important oblige à avoir davantage de satellites en orbite, d'où une augmentation des coûts afférents au système et un réseau plus complexe. La couverture est aussi influencée par l'inclinaison des satellites (angle formé par le plan équatorial de la Terre et le plan de l'orbite du (des) satellite(s)). Plus cet angle est grand, plus la couverture (avec de grands angles d'élévation) est concentrée sur les latitudes élevées.

Dans les systèmes du SMS dont les satellites gravitent sur des orbites LEO – Iridium, Globalstar et Orbcomm, par exemple – les altitudes orbitales sont comprises entre 700 km et 1 400 km environ et la durée de vie nominale des satellites est de l'ordre de 7 ans. Dans d'autres systèmes du SMS de type non OSG tels que ICO, on a opté pour des orbites MEO (environ 10 400 km pour la constellation) et on a obtenu une durée de vie nominale de l'ordre de 12 ans.

### **4.4 Interfonctionnement avec les réseaux de Terre**

Pour relier les réseaux à satellite du SMS aux réseaux de Terre, il faut prévoir un certain niveau d'interconnexion ou des éléments d'interfaçage installés dans la station terrienne de liaison de connexion ou la station terrienne passerelle, selon le réseau de Terre auquel le système du SMS doit être relié.

#### **4.4.1 STP – Fonctionnement et gestion**

##### **4.4.1.1 Remarques générales**

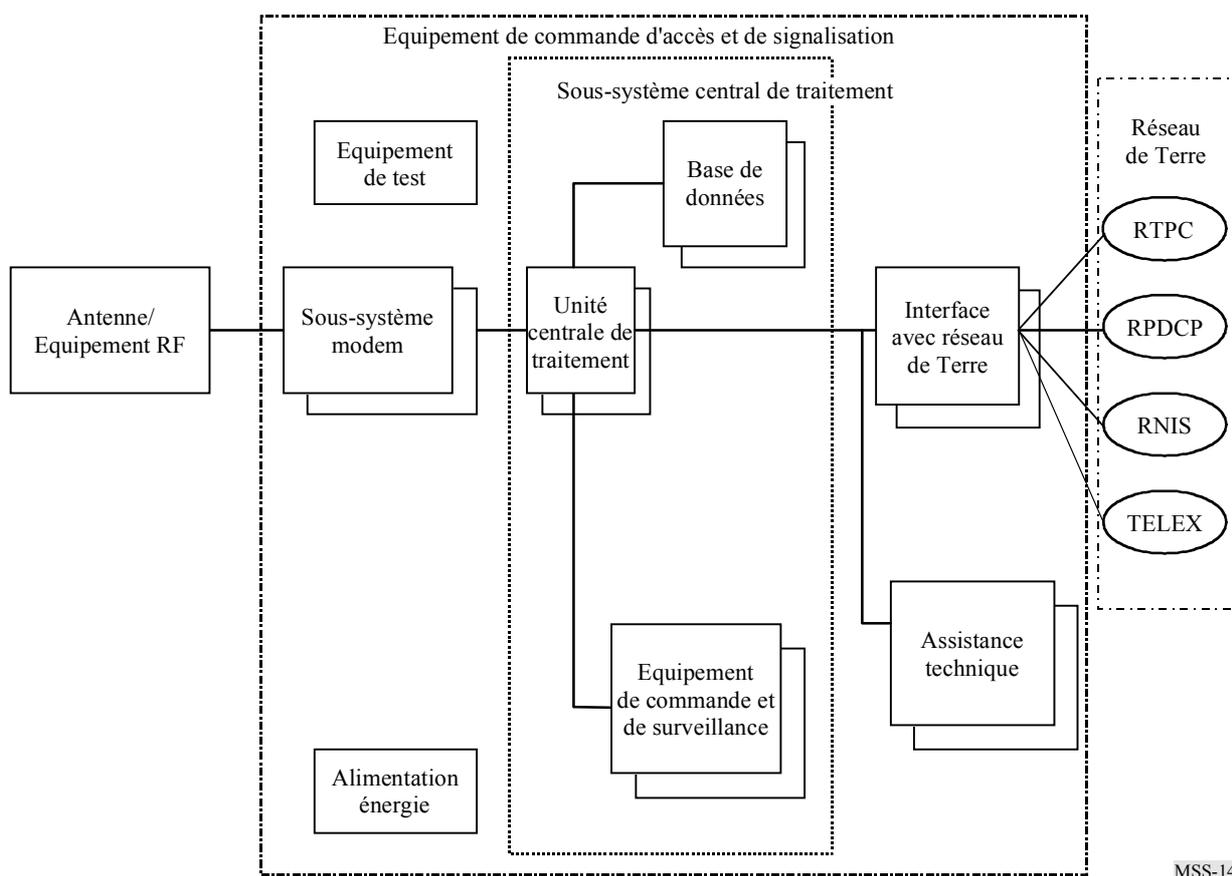
Les équipements des STP accomplissent généralement sept catégories de fonctions spécifiques. Il s'agit des équipements suivants:

- le système d'antenne (avec le système de poursuite et les asservissements);
- l'équipement RF à large bande (émetteurs et récepteurs à faible bruit);
- l'équipement FI (avec les modulateurs, démodulateurs et changeurs de fréquence);

- l'équipement de commande d'accès et de signalisation (avec l'ordinateur central et la base de données);
- l'équipement terminal (bande de base, multiplexage et liaison hyperfréquences);
- l'équipement d'alimentation en énergie et les appareils auxiliaires;
- l'équipement de commande et de surveillance, avec les moyens de test.

La Fig. 14 représente la structure type d'une STP.

FIGURE 14  
Structure d'une station terrienne



MSS-14

Le travail d'exploitation et de maintenance dans la station terrienne nécessite les mêmes connaissances et compétences spécialisées que pour le SMS.

#### 4.4.1.2 Organisation de la maintenance

##### 4.4.1.2.1 Principes de maintenance et fourniture des pièces de rechange

Les principales tâches du personnel de maintenance dans une station terrienne du SMS sont les suivantes:

- réparation des appareils défectueux;
- gestion de la base de données;
- vérification et mise à jour du logiciel;
- maintenance périodique.

###### a) *Réparation des appareils défectueux*

Les opérations suivantes sont effectuées pour réparer un appareil défectueux:

*Etape 1:* Diagnostic sur place et détermination des éléments défectueux.

*Etape 2:* Remplacement des éléments défectueux.

*Etape 3:* Réparation de l'appareil défectueux.

Pour chacune de ces Etapes, on peut décider si le travail sera fait par le fabricant ou par le personnel de la station terrienne. Le mode opératoire pour la réparation peut être différent selon les compétences techniques requises et selon la nature des équipements de test.

Les facteurs suivants influent sur le choix du mode opératoire pour un équipement donné:

- la fiabilité;
- la complexité technique et les incidences possibles sur le service;
- la présence d'un personnel ayant les compétences requises pour entreprendre la réparation;
- le type, le nombre et le prix des pièces de rechange;
- l'équipement de test et la documentation nécessaires.

###### b) *Gestion de la base de données*

Le personnel de la station terrienne a aussi pour tâche, dans le cadre des travaux de maintenance, de gérer plusieurs tables de la base de données. Il est demandé au personnel de maintenance de gérer ces bases de données. Les tables en question sont, par exemple, les suivantes:

- Liste des terminaux mobiles.
- Liste des codes d'accès spéciaux.
- Table des indicatifs de pays.
- Liste des utilisateurs enregistrés.
- Données de journal et de facturation.

La liste des terminaux mobiles contient plusieurs indications d'état de ces terminaux: occupé/libre, statut de mise en service, etc. Lorsqu'un nouveau terminal est enregistré dans le réseau, le personnel de la station terrienne entre l'information correspondante dans la base de données.

Dans certains réseaux, on utilise la liste des codes d'accès spéciaux pour appeler les services d'appui, les centres de coordination des secours, etc. La station terrienne se sert de ces codes pour l'acheminement non seulement vers des numéros spéciaux mais également vers des services à valeur ajoutée.

La station terrienne dispose d'une table d'indicatifs de pays pour l'acheminement des appels internationaux. Elle tient à jour la liste des utilisateurs enregistrés qui ont recours aux services spéciaux. Elle publie fréquemment des données de journal et de facturation.

c) *Vérification et mise à jour du logiciel*

Dans une station terrienne du SMS, le logiciel est intégré à l'équipement de commande d'accès et de signalisation (ACSE, *access control and signalling equipment*) et/ou à l'unité de canaux, pour l'assignation et la signalisation. Lorsque ce logiciel est mis à jour, le personnel de la station est appelé à effectuer le travail de test et de mise à jour.

Si le nouveau logiciel fonctionne mal, il peut en résulter des dommages importants pour le service. Ces difficultés peuvent être surmontées moyennant le recours à un petit système de débogage.

d) *Maintenance périodique*

Les opérateurs des stations terriennes sont tenus d'assurer périodiquement la maintenance et l'étalonnage des équipements afin de maintenir une bonne qualité de service. La maintenance de l'ordinateur central pour l'équipement ACSE est confiée au personnel du fournisseur; de son côté, le personnel de la station terrienne est en mesure de s'occuper des équipements radioélectriques, de l'interface avec le réseau de Terre, de l'équipement de test, etc.

#### **4.4.1.2.2 Equipement de test**

Plusieurs types d'équipement de test sont nécessaires dans une station terrienne pour les travaux de maintenance. Les fournisseurs des services de télécommunication par satellite (par exemple, Inmarsat, Iridium et ICO) publient généralement des manuels d'exploitation concernant les stations terriennes. Ces manuels indiquent la gamme et le type des équipements de test à installer dans une station terrienne.

Si on envisage d'installer des équipements différents de ceux qui sont recommandés, il est important de veiller à la compatibilité. D'autres facteurs importants sont la facilité d'utilisation ainsi que la facilité de réparation et d'étalonnage.

Il est fortement recommandé que les équipements de test destinés à des usages spéciaux soient normalisés dans toutes les stations terriennes d'une administration.

Il est essentiel de disposer de moyens pour la réparation et l'étalonnage des équipements de test. On devrait pouvoir se procurer ces moyens auprès d'ateliers ou de laboratoires locaux ou régionaux, ou par voie d'accords avec le constructeur de ces équipements ou avec ses concessionnaires.

#### **4.4.1.2.3 Facteurs de qualité**

Les opérateurs des stations terriennes ne doivent pas relâcher leur surveillance s'ils veulent maintenir la qualité globale à un niveau approprié.

Les données pertinentes sont systématiquement enregistrées, ce qui permet de contrôler constamment si la capacité des installations et les travaux de maintenance sont adéquats. Il est possible ainsi de prendre en temps voulu les décisions de gestion pour garantir une bonne efficacité de fonctionnement des stations.

### **4.4.1.3 Principes et dispositions d'exploitation**

#### **4.4.1.3.1 Principes d'exploitation**

Les principaux domaines de responsabilité du personnel d'exploitation dans les stations terriennes du SMS sont les suivants:

– *Traitement des communications du SMDSM*

Beaucoup de stations terriennes du SMS traitent les communications de détresse, d'urgence et de sécurité. Ces stations sont reliées au centre de coordination des secours. Dans quelques administrations, le personnel d'exploitation a pour tâche de surveiller ces communications et de rétablir la connexion en cas de défaillance de l'acheminement automatique.

– *Essai de mise en service*

Dans certains systèmes (par exemple, Inmarsat-A), les agents d'exploitation sont appelés à participer à des essais de mise en service des terminaux mobiles. Ils établissent un programme d'essais et l'exécutent en coopération avec les utilisateurs des terminaux.

– *Assistance technique*

Le personnel d'exploitation des stations terriennes du SMS a aussi pour tâche d'apporter une assistance technique aux utilisateurs des terminaux mobiles. Un procédé extrêmement commode est la connexion au moyen d'un code d'accès spécial.

– *Interdiction de communiquer et levée de l'interdiction*

Si un client ne paie pas ses communications, le personnel d'exploitation applique, le cas échéant, une fonction d'interdiction. Il lève cette interdiction une fois que la situation est redevenue normale.

### **4.4.2 Connexions avec le réseau téléphonique et le réseau de transmission de données**

Normalement, les protocoles de transmission par satellite sont spécifiques au réseau du SMS ou même au type particulier de terminal qu'il s'agit d'interconnecter. Il faut donc mettre en oeuvre dans la station terrienne un dispositif qui servira d'intermédiaire entre le protocole du service par satellite et celui du service de Terre.

a) *Connexion avec le réseau téléphonique public à commutation*

Dans les systèmes du SMS, on choisit un protocole satellite unique et un codec vocal pour chaque système (Inmarsat-A, -B, -M, -Mini-M, -Aero, etc.). Dans ce contexte, les stations terriennes côtières Inmarsat sont généralement dotées d'interfaces pour le réseau à satellite et pour le ou les réseaux de Terre appropriés. Dès lors, un sous-système appelé «composant d'interface de satellite» comprendra plusieurs types d'interfaces satellite pour les signaux vocaux, la télécopie, les données, etc. Le sous-système homologue «composant d'interface de réseau de Terre» convertit les données pour les adapter au protocole de signalisation de Terre approprié, par exemple pour le système de signalisation N° 5 ou N° 7.

b) *Connexion avec le RNIS*

Certains services assurés par les systèmes du SMS ont été perfectionnés récemment pour répondre aux besoins des usagers en matière de transmission de données à haut débit; par exemple, des débits d'information pouvant aller jusqu'à 64 kbit/s, voire davantage. Lorsque ces services à haut débit seront mis en oeuvre sur la liaison par satellite, il faudra souvent installer une interface pour le réseau de Terre dans la station terrienne du système concerné du SMS. Un modèle de connexion type avec le RNIS (réseau de Terre) serait semblable aux sous-systèmes décrits plus haut. Toutefois, dans le cas particulier, le composant d'interface du réseau de Terre devrait traiter le protocole de signalisation du RNIS. Si ce composant n'est pas équipé à cette fin, une unité d'interfonctionnement pourrait être placée entre ledit composant (équipé RTPC) et le RNIS, pour la conversion du protocole RTPC en protocole RNIS et inversement.

c) *Connexion avec le RPDCP*

Si la liaison de Terre choisie est un réseau RPDCP, une station terrienne du SMS réassemble souvent les données en paquets reçues des terminaux mobiles. Elle achemine ensuite les messages par l'intermédiaire du RPDCP dans le format requis, et vice versa. La station terrienne aurait une structure type semblable à celle nécessaire pour la connexion avec le RTPC, mais avec la différence suivante: ici, le traitement, dans la station terrienne, pour passer du composant d'interface satellite au composant d'interface de Terre («composant de traitement central») devra éventuellement comporter une fonction de réassemblage de données. De son côté, le composant d'interface du réseau de Terre devra éventuellement être équipé d'une unité de conversion de protocole pour l'exploitation en X.25 ou X.75.

d) *Connexion avec l'Internet*

La transmission des paquets IP est devenue une des applications les plus importantes dans les réseaux de télécommunication modernes. Dans certains systèmes du SMS, cette transmission est déjà en service ou en cours de mise en pratique. Utilisant des liaisons mobiles par satellite fonctionnant avec transmission numérique à débit relativement élevé, ces systèmes du SMS permettent la transmission des paquets IP, alors qu'une adaptation est généralement nécessaire pour loger ces paquets dans le format de trame numérique de la liaison par satellite. Il est possible également de partager une liaison mobile par satellite par plusieurs connexions pour la transmission des paquets IP vers des destinations différentes. L'interface en bande de base installée dans une station terrienne passerelle devrait posséder ces fonctions d'adaptation. Une telle fonction permet d'interconnecter les liaisons mobiles par satellite avec l'Internet (réseau de Terre) grâce à un routeur installé dans la STP.

#### **4.4.3 Connexions avec les systèmes mobiles de Terre (par exemple, IMT-2000)**

La conception des systèmes des IMT-2000 repose sur le principe suivant: indépendamment de leur compatibilité, de leur communauté de conception et de leur interfonctionnement, la composante de Terre et la composante satellite peuvent être considérées comme indépendantes l'une de l'autre en ce qui concerne les moyens d'exploitation; et également indépendantes des réseaux fixes. Par ailleurs, les systèmes à satellites des IMT-2000 peuvent être conçus pour réaliser des extensions spatiales pour les réseaux de Terre, ce qui élargit la zone pouvant être desservie directement par un réseau ayant une fonctionnalité IMT-2000. On peut vraisemblablement envisager actuellement trois scénarios de mise en oeuvre différents pour la composante satellite des IMT-2000. Le lecteur trouvera des explications plus détaillées sur ce sujet dans les Recommandations UIT-R, par exemple la Recommandation UIT-R M.817, et dans les documents de travail du Groupe de travail 8F (GT-8F) des radiocommunications.

## **4.5 Principes d'ingénierie des systèmes du SMS**

### **4.5.1 Couverture et diagrammes de rayonnement (faisceaux) des antennes des satellites**

La conception des antennes des satellites est un des domaines les plus spécialisés de la technologie des engins spatiaux et un aspect extrêmement important des sous-systèmes de la charge utile des satellites du SFS comme du SMS. Plusieurs circonstances, entre autres, expliquent cet état de choses: le caractère limité du spectre disponible, l'augmentation des besoins des utilisateurs des satellites en matière de capacité et, bien entendu, l'encombrement actuel de l'orbite des satellites OSG. Une technologie de pointe en matière d'antennes permet d'intensifier la réutilisation des fréquences, par le recours à la polarisation orthogonale ou à la discrimination spatiale entre faisceaux. Il ne serait être question, dans ce manuel, d'entrer dans le détail de la théorie de la conception des antennes de satellite. Nous nous bornerons à signaler quelques caractéristiques fondamentales de ces antennes susceptibles, d'une part, d'influer sur la qualité de fonctionnement dans un réseau donné du SMS et, d'autre part, de rendre un réseau du SMS moins vulnérable aux brouillages causés par d'autres systèmes de ce service.

Les caractéristiques les plus importantes d'une antenne de satellite sont les suivantes:

- le contour de la zone de couverture (configuration des faisceaux);
- la forme du diagramme et les niveaux dans les lobes latéraux;
- la pureté de la polarisation;
- la capacité de transmission de puissance;
- la capacité de détection en radiofréquence (le cas échéant).

#### **Couverture**

La zone de couverture, vue du satellite, est généralement définie par des contours d'égalité de gain ou d'égalité de p.i.r.e. Sur les premiers satellites du SMS, comme aussi ceux du SFS, les antennes étaient constituées par un réflecteur alimenté par des cornets circulaires – en général, «cornets à couverture mondiale». Ces cornets étaient façonnés de telle manière qu'ils éclairaient la surface terrestre par un faisceau conique dont l'angle était approximativement égal à l'angle sous-tendu par la Terre depuis le satellite (dans l'OSG), soit environ  $17,3^\circ$ , ce qui donne un faisceau à couverture mondiale.

Or, il est manifestement contre-productif d'éclairer des portions de surface terrestre où il n'y a pas de clients à desservir. C'est la raison pour laquelle on utilise sur les satellites plus récents des antennes à faisceau modelé qui rayonnent à l'intérieur des zones de service et réduisent à un minimum le débordement d'énergie radioélectrique en dehors de ces zones. Lorsque des faisceaux modelés sont utilisés du côté réception du satellite (liaison montante), il est possible de réduire la puissance que la station terrienne doit émettre sur la liaison montante, d'où diminution des coûts afférents à cette station.

#### **Forme du diagramme de rayonnement et niveau dans les lobes latéraux**

Bien qu'il n'en soit pas fait état dans le RR, à l'exception des satellites de radiodiffusion directe (Appendice 30 du RR), le recours à la décroissance rapide des niveaux dans les lobes latéraux a pour effet de réduire les brouillages causés aux systèmes à satellites voisins sur les liaisons descendantes de ces systèmes. Cette technique a un autre effet, celui de rendre un système donné moins vulnérable aux brouillages causés par les stations terriennes des réseaux à satellite voisins.

### **Pureté de polarisation et réutilisation des fréquences**

Le spectre de fréquences disponible pour le SMS est limité, de même que les bandes attribuées au SFS qui sont utilisées par les liaisons de connexion du SMS. Cette situation, ajoutée à l'encombrement de l'OSG, fait qu'on a de plus en plus besoin de pratiquer la réutilisation des fréquences, en ayant recours à la discrimination de polarisation. Normalement, cette réutilisation ne peut être obtenue que sur les liaisons de connexion des systèmes du SMS, du fait du manque de pureté de polarisation sur les antennes des stations terriennes de ce service. On peut utiliser la polarisation circulaire orthogonale ou la polarisation rectiligne (verticale contre horizontale). Pour une liaison de connexion réalisée avec soin, on peut obtenir des découplages de polarisation de l'ordre de 27 dB, ou plus.

### **Discrimination entre faisceaux (discrimination spatiale)**

Quand les zones de service peuvent être couvertes par des faisceaux bien isolés – comme dans le cas des satellites Inmarsat-III avec leurs différents faisceaux ponctuels – il est possible d'utiliser la même bande de fréquences pour deux faisceaux bien séparés l'un de l'autre. Si deux réseaux coordonnent leur utilisation d'une même bande de fréquences du SMS, il est possible aussi de les faire fonctionner dans un même canal sur une partie de leur gamme d'accord de fréquence, à condition que leurs faisceaux ponctuels respectifs ne se chevauchent pas et à condition que ces faisceaux couvrent des régions nettement séparées les unes des autres sur la surface terrestre.

### **Capacité de transmission de puissance**

Les générations successives de réseaux du SMS ont rayonné des p.i.r.e. de plus en plus élevées. Cette évolution s'est traduite par des exigences toujours plus grandes pour la conception des systèmes d'alimentation, dans les domaines de la régulation thermique et de la suppression des produits d'intermodulation.

### **Capacité de détection en radiofréquence**

Ce problème se pose davantage dans les systèmes nationaux du SFS. Néanmoins, il est possible – dans les cas où l'antenne du satellite a une petite ouverture de faisceau – qu'un satellite du SMS utilise un système de détection RF pour suivre une balise au sol, laquelle est alors utilisée pour corriger automatiquement les écarts d'orientation éventuels du faisceau. Ce système est analogue aux systèmes de poursuite par monoimpulsion utilisés parfois sur les antennes des stations terriennes, avec leurs quatre cornets d'alimentation qui produisent les diagrammes somme et différence pour orienter le faisceau principal de l'antenne sur un signal de balise émis par le satellite.

### **Antennes à rayonnement direct et/ou antennes-réseaux à commande de phase**

Les progrès techniques récents ont permis de construire une antenne-réseau à commande de phase composée d'un groupe d'éléments rayonnants ou de cornets d'alimentation qui sont disposés de telle façon (généralement dans un polygone à deux dimensions) qu'ils éclairent un système réflecteur unique, ou de telle façon qu'ils puissent fonctionner en mode de rayonnement direct, on a alors une antenne à rayonnement direct (DRA, *direct radiating antenna*). Cette antenne DRA équipe les satellites du système mobile ICO, où elle génère 163 faisceaux ponctuels (avec 127 éléments d'alimentation). L'excitation de chaque élément rayonnant, en amplitude et en phase, peut être commandée individuellement pour donner un faisceau de rayonnement de forme pratiquement arbitraire; une autre possibilité est de commander électroniquement la position du faisceau dans l'espace en réglant la phase de l'excitation sur les divers éléments rayonnants. On peut donc réaliser le balayage du faisceau en laissant en position fixe le réflecteur et le système d'alimentation de l'antenne. Une antenne DRA permet aussi de reconfigurer les faisceaux. Dans ce cas, on modifie la forme du faisceau en agissant sur un nouveau groupe d'excitations en amplitude et en phase. Ce groupe d'excitations peut demeurer fixe pendant un certain intervalle de temps, puis être réactivé ultérieurement par exemple, pendant différentes périodes d'une révolution orbitale.

## **Importance de l'antenne du satellite dans le partage entre systèmes et l'utilisation des fréquences**

Il n'existe qu'un nombre limité de procédés grâce auxquels un réseau à satellite du SMS peut distinguer les signaux brouilleurs, dans le même canal ou du canal adjacent, provenant d'un autre réseau à satellite, ou s'isoler suffisamment de ces signaux pour réaliser son objectif en matière de brouillage:

- utiliser la directivité des antennes de réception et d'émission du *satellite*;
- utiliser la directivité des antennes d'émission et de réception de la station terrienne;
- utiliser des polarisations opposées dans le canal utile et dans le canal brouilleur;
- entrelacer les canaux pour éviter le fonctionnement intégral dans le même canal.

La mesure dans laquelle on peut avoir recours à chacun de ces quatre procédés pour obtenir, en partie ou en totalité, le degré nécessaire d'isolement entre les systèmes dépend d'un grand nombre de facteurs: dimensions et conception des antennes des stations terriennes et des stations spatiales; positions orbitales (sur l'OSG) et couverture géographique des satellites des deux systèmes considérés; mesure dans laquelle chacun des procédés a déjà pu être mis en oeuvre pour la réutilisation des fréquences dans les différents réseaux du SMS; coûts et facteurs d'exploitation.

### **4.5.2 Modulation de la porteuse et techniques d'accès multiple**

#### **4.5.2.1 Modulation de la porteuse**

Les conditions d'exploitation sur les liaisons du service mobile par satellite sont influencées par un certain nombre de limitations et de dégradations qui sont inhérentes aux systèmes de ce service. Dans un premier temps, on a utilisé la modulation analogique pour la transmission des signaux vocaux dans les systèmes des premières générations. Par la suite, on a mis au point des systèmes à transmission numérique pour améliorer la qualité de transmission. La modulation numérique a été introduite plus récemment, associée à des procédés de correction d'erreur. On trouvera dans cette section une vue d'ensemble des techniques de modulation de l'onde porteuse et de codage, dans l'optique particulière des caractéristiques d'exploitation des systèmes du service mobile par satellite.

##### **4.5.2.1.1 Caractéristiques des liaisons mobiles par satellite**

La transmission sur ces liaisons fait intervenir un certain nombre de facteurs qui sont inhérents aux systèmes du SMS. Les caractéristiques types des liaisons en question sont influencées par les facteurs spécifiés ci-après, qui doivent être pris en considération dans le choix des méthodes de modulation et de codage et dans la conception des liaisons.

###### **a) *Conditions de propagation***

Les STM sont appelées à fonctionner dans différentes conditions de propagation à l'intérieur des systèmes du SMS. En particulier, dans les systèmes à satellites des services mobiles maritime et aéronautique, les évanouissements par trajets multiples dus aux réflexions sur la surface de la mer sont un facteur type des conditions de transmission. L'ensemble constitué par un trajet de propagation direct et des trajets multiples par réflexion est généralement modélisé comme un «évanouissement de Nakagami-Rice», différent des «évanouissements de type Rayleigh» que l'on trouve dans les systèmes mobiles terrestres.

Les erreurs de pointage doivent aussi être prises en compte lorsqu'une antenne directive est utilisée dans une STM, en particulier pour les terminaux embarqués à bord de navires ou d'aéronefs. Il peut aussi y avoir des erreurs de pointage dans le fonctionnement d'une STM portable.

Autre facteur à prendre en considération, l'effet d'occultation dans le cas des STM. Dans l'environnement d'une STM terrestre, on n'a aucune garantie de visibilité directe vers un satellite OSG ou non OSG, à cause du blocage par les bâtiments ou de l'occultation par les feuillages. Le blocage provoque de courtes interruptions sur une liaison, tandis que l'occultation par les feuillages peut causer des affaiblissements considérables par évanouissements.

Compte tenu de ces dégradations de la propagation, il faut choisir, au stade de la conception d'un système, des méthodes de modulation et de codage performantes. Dans la conception des liaisons, on réservera une marge suffisante pour obtenir la disponibilité requise.

b) *Limitation de puissance et non-linéarité*

Le fonctionnement des STM est soumis à de nombreuses limitations. La taille des antennes est généralement trop petite pour pouvoir garantir un fonctionnement satisfaisant dans les conditions de mobilité. Cela se traduit par une faible valeur du rapport  $G/T$ , ce qui a des incidences fâcheuses sur la conception des liaisons. Les stations terriennes mobiles ont une puissance d'émission limitée, en particulier dans le cas des terminaux de poche, pour protéger les utilisateurs des effets du rayonnement en radiofréquence et en raison de la limitation de la puissance fournie par les batteries.

Il est souhaitable d'accroître la puissance d'émission des satellites, afin de compenser la faible valeur du rapport  $G/T$  des STM. Les antennes de satellite à faisceaux ponctuels ou les grandes antennes déployables contribuent à augmenter la p.i.r.e. des satellites. Si l'alimentation satellite donne une puissance limitée, on peut tabler sur un amplificateur à grande puissance pour obtenir une puissance de sortie plus élevée. Se pose alors le problème de la non-linéarité si ces amplificateurs fonctionnent avec un faible recul de puissance, au voisinage de la saturation. L'intermodulation due à la non-linéarité est un des principaux facteurs de dégradation dans l'amplification commune des porteuses utilisées pour un système à SCPC sous les contraintes imposées par la limitation de puissance.

Dans les conditions décrites ci-dessus, la conception des liaisons des systèmes du SMS est une opération qui est souvent limitée par la puissance. L'utilisation des techniques de correction d'erreur est souvent extrêmement utile en pareil cas. L'ajustement des assignations des fréquences porteuses est aussi un procédé efficace pour atténuer les effets de la non-linéarité, en faisant tomber les produits d'intermodulation dans des intervalles de fréquence non utilisés.

c) *Effet Doppler*

L'effet Doppler est une autre caractéristique du fonctionnement des systèmes du SMS. Dans les systèmes aéronautiques, le déplacement à grande vitesse des stations terriennes aéroportées provoque des décalages de fréquence Doppler, même dans un système à satellites OSG. Dans le cas des systèmes à satellites non OSG, le phénomène est inévitable du fait du mouvement des satellites. En général, l'effet du décalage de fréquence Doppler n'est pas négligeable si l'on veut obtenir un fonctionnement stable des démodulateurs. Dans ce cas, cet effet est tellement important qu'il faut faire appel à la commande automatique de fréquence (CAF) pour couvrir une large gamme de décalages de fréquence.

#### **4.5.2.1.2 Modulation analogique**

On a commencé à utiliser la modulation analogique pour la transmission de signaux vocaux dans les systèmes du SMS de la première génération, la méthode couramment employée étant la modulation de fréquence (MF). Pour transmettre un canal vocal, la MF à bande étroite convenait bien pour moduler une porteuse unique. Par exemple, le système Standard-A d'INMARSAT fonctionne en SCPC/MF pour les services de téléphonie. En association avec la transmission en MF à bande étroite, on a utilisé dans certains cas des compresseurs-extenseurs syllabiques pour augmenter le rapport signal/bruit ( $S/N$ ) du circuit de téléphonie en bande de base.

Le Tableau 5 donne des caractéristiques types d'une porteuse traitée en SCPC/MF dans un système Inmarsat-A pris comme exemple.

TABLEAU 5

**Exemple de caractéristiques pour un système SCPC/MF**

Bande de base	0,3-3,0 kHz
Excursion de fréquence maximale	12 kHz
Espacement des porteuses	25 kHz
Compression-extension syllabique	2:1 (Rec. UIT-T G.162)
Rapport <i>S/N</i> dans la bande de base	46 dB

NOTE – Caractéristiques du système Inmarsat-A

**4.5.2.1.3 Modulation numérique**

Dans la génération actuelle de systèmes du SMS, on a recours généralement à la modulation numérique, qui a de meilleures performances: utilisation efficace des bandes de fréquences et économie de puissance d'émission. Malgré les diverses dégradations de la transmission indiquées plus haut, il est possible d'utiliser la modulation numérique dans les systèmes du SMS. La modulation par déplacement de phase (MDP) est le procédé le plus couramment utilisé dans ces systèmes. On emploie la modulation par déplacement de phase bivalente (MDP-2) lorsqu'une liaison mobile par satellite est fortement limitée en puissance. La technique de modulation par déplacement de phase quadrivalente (MDP-4) est plus souvent utilisée; elle est considérée comme plus efficace dans les cas de transmission avec non-linéarité et limitation de largeur de bande. Les variantes de la MDP-4 souvent employées dans les systèmes du SMS sont la MDP-4 avec déphasage de  $\pi/4$  et la MDP-4 avec décalage. Dans cette dernière méthode, les instants de modulation sont différents dans les canaux *I* et *Q*, le décalage entre les deux étant égal à la moitié de la durée d'un symbole. Dans la MDP-4 avec déphasage de  $\pi/4$ , deux bits d'information sont mappés sur les déphasages  $\pm\pi/4$  ou  $\pm3\pi/4$ . Ces méthodes de modulation permettent d'éviter un déphasage pouvant aller jusqu'à  $\pi$  à tout instant de modulation. Il est alors possible de réduire la fluctuation d'enveloppe, ce qui est préférable dans les conditions de transmission indiquées plus haut.

Le Tableau 6 donne des exemples types de modulation numérique avec indication des caractéristiques les plus importantes.

TABLEAU 6

**Exemples de porteuses à modulation numérique**

	Débit binaire	Système
MDP-2	1 200 bit/s	Inmarsat-A, porteuse MRT
	4 800 bit/s	Inmarsat-A, porteuse AMRT
	1 200 bit/s	Inmarsat-C
MDP-4	56/64 kbit/s	Inmarsat-A-HSD
	50 kbit/s	Système A, Rec. UIT-R M.1184-1, Tableau 4a
	36 kbit/s	Système F, Rec. UIT-R M.1184-1, Tableau 4a
MDP-4 avec décalage	24 kbit/s	Inmarsat-B
	21 kbit/s	Inmarsat aeronautical
	8 kbit/s	Inmarsat-M aéronautique
MDP-4 avec déphasage $\pi/4$	14 kbit/s	N-Star

#### 4.5.2.1.4 Codage pour correction d'erreur

Il est généralement difficile, dans les systèmes du SMS, d'assurer un rapport de puissance porteuse/bruit ( $C/N$ ) suffisamment élevé au stade de la conception des liaisons, en raison de l'influence des divers facteurs signalés plus haut. Cela étant, l'application de codes de correction d'erreur est un moyen extrêmement efficace pour améliorer les caractéristiques d'erreur binaire dans la transmission numérique.

Les codes de correction le plus souvent utilisés sont les codes de convolution au débit de 1/2 et 3/4. Etant donné qu'on ajoute des bits redondants, le débit de transmission augmente dans le codage pour correction d'erreur. Le codage au débit 1/2 nécessite un doublement du débit de transmission, parce que le même nombre de bits redondants est ajouté à la séquence initiale de bits d'information. Le code de convolution au débit 1/2 est plus efficace que le code 3/4 pour améliorer la qualité en matière de taux d'erreur binaire, mais il exige une augmentation plus importante du débit de transmission. Les codes de convolution discontinus, qui sont des extrapolations des codes de convolution classiques, sont plus performants. Un tel code, dérivé d'un code de convolution au débit 1/2, est capable de fournir la même correction d'erreur que le code 1/2 avec une augmentation moins importante du débit de transmission.

Le décodage Viterbi est le procédé qui permet de décoder les codes de convolution. La performance de ce décodage peut être améliorée par la «décision progressive», qui utilise une sortie de détection à niveaux multiples au lieu d'une détection binaire (0 ou 1).

Ces codes de correction d'erreur sont moins performants dans le cas des paquets d'erreurs. L'entrelacement des bits est un moyen efficace pour réduire la dégradation introduite par les paquets d'erreurs. Un dispositif d'entrelacement des bits enregistre la séquence de bits et distribue une série d'erreurs en paquets, de manière telle que ces erreurs apparaissent comme des erreurs aléatoires.

Le Tableau 7 donne des exemples types de codage pour correction d'erreur dans les systèmes du SMS.

TABLEAU 7

#### Exemples de codes de correction d'erreur

Code de convolution débit 1/2	Inmarsat-B, canal de signalisation Inmarsat-C Inmarsat aéronautique
Code de convolution discontinu, débit 3/4	Inmarsat-B, canal vocal

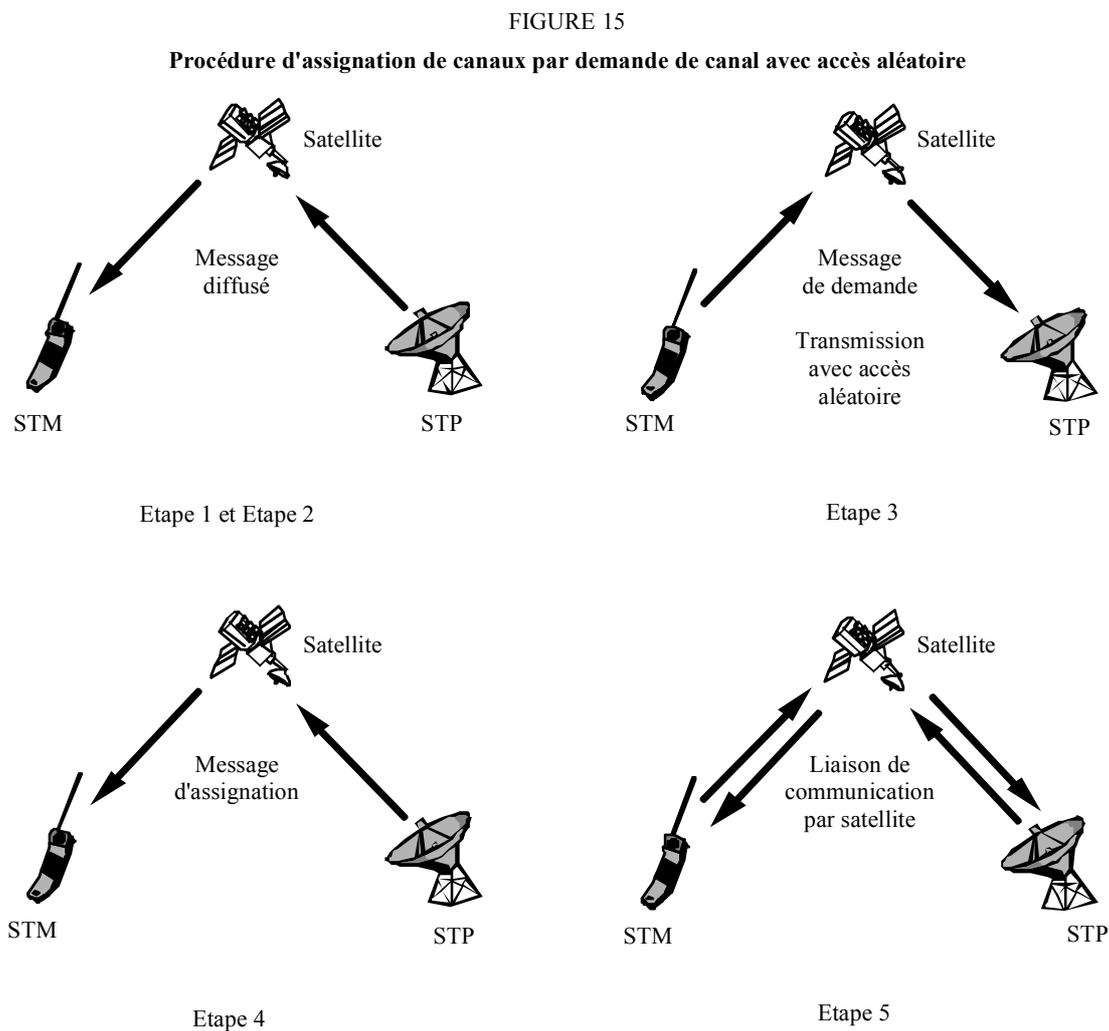
#### 4.5.2.2 Méthodes d'accès multiple

Les systèmes du SMS fonctionnent généralement avec assignation en fonction de la demande pour desservir un grand nombre de stations terriennes mobiles qui communiquent avec des répéteurs de satellite ayant une capacité limitée. On a le choix entre plusieurs techniques d'accès multiple pour partager cette capacité entre un certain nombre de stations terriennes mobiles. Ces techniques, utilisées dans les systèmes du SMS, sont l'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF), l'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) et l'AMRC. Elles permettent de répartir plusieurs liaisons par satellite entre un certain nombre de terminaux mobiles.

L'accès multiple avec assignation en fonction de la demande (AMAD) consiste à demander l'assignation d'un canal satellite puis à notifier l'assignation à la STM qui en a fait la demande. Pour demander un canal, ces stations émettent un message de demande sur la base de l'accès aléatoire. En conséquence, la commande d'accès aléatoire, comme celle du système ALOHA, est utilisée pour la transmission des messages de demande.

#### 4.5.2.2.1 Canaux à accès aléatoire pour l'accès AMAD

Dans les systèmes du SMS, il y a généralement un grand nombre de stations terriennes mobiles qui établissent les liaisons par satellite en envoyant des messages de demande. La procédure décrite au § 4.1.3.4 correspond à la commande d'assignation des canaux à la demande associée à l'utilisation des canaux avec demande d'accès aléatoire. Le principe de cette procédure est illustré par la Fig. 15.



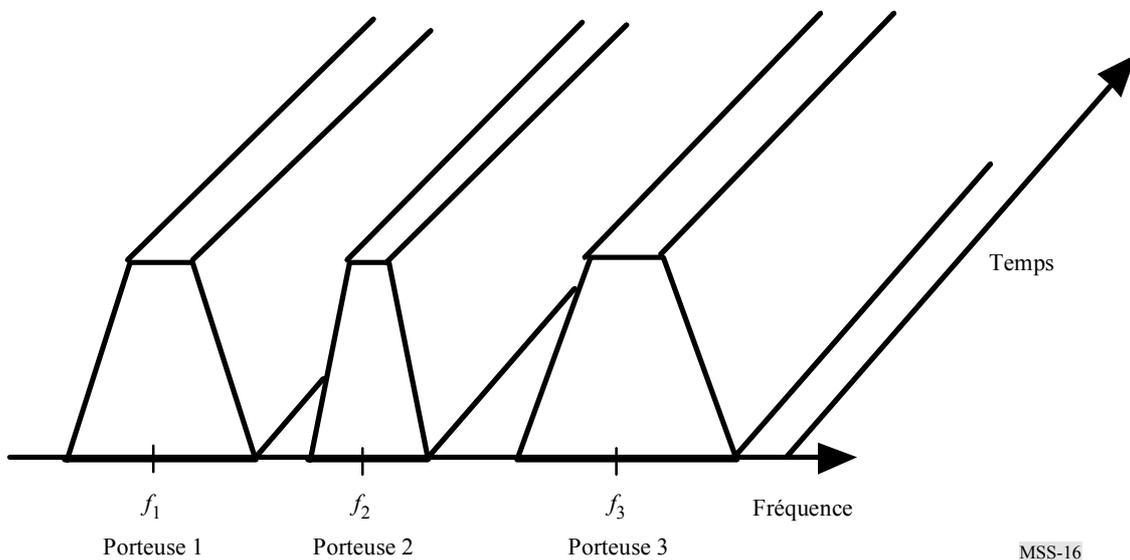
MSS-15

Dans l'Etape 3, le message de demande est émis par un système à accès aléatoire tel qu'ALOHA pur ou ALOHA à segmentation temporelle. La transmission avec accès aléatoire aboutit si le message est reçu sans collisions. En cas de collision, la STM procède à une nouvelle transmission du même message après un intervalle de temps approprié. La transmission de ces messages étant généralement peu fréquente, les collisions sont elles-mêmes peu fréquentes, même dans le cas de l'accès aléatoire à partir de plusieurs terminaux mobiles.

#### 4.5.2.2.2 Accès multiple par répartition en fréquence

L'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) est une des méthodes d'accès multiple les plus utilisées dans les systèmes de télécommunication par satellite. La Fig. 16 montre que la bande de fréquences d'un répéteur de satellite est divisée en plusieurs intervalles de fréquences dont chacun sert à l'assignation d'une onde porteuse de transmission pour une liaison par satellite établie entre une station terrienne passerelle et une STM. La méthode SCPC est un exemple de AMRF dans lequel chaque porteuse transporte un seul canal de transmission par satellite.

FIGURE 16  
AMRF



Un système AMRF permet l'utilisation de porteuses fonctionnant avec de faibles débits de transmission, qui conviennent bien aux STM ayant peu de puissance d'émission. D'un autre côté, l'amplification commune de plusieurs porteuses peut provoquer de l'intermodulation sous l'effet de la non-linéarité lorsque le répéteur du satellite fonctionne au voisinage de la saturation. Dans ce cas, il faut procéder avec soin pour assigner les fréquences porteuses, afin que les produits d'intermodulation ne coïncident pas avec les porteuses utilisées en exploitation.

Dans le cas AMRF, il est possible d'appliquer une méthode antibrouillage telle que le système d'assignation dynamique des canaux en fonction de l'activité observée (système DCAAS). Lorsqu'un système du SMS fonctionne dans une bande de fréquences partagée avec un autre système, par exemple un réseau mobile de Terre, le système du SMS doit éviter d'utiliser un canal utilisé par l'autre réseau. Le système du SMS explore le spectre et analyse un certain nombre d'intervalles de fréquences; il assigne un canal qui n'est pas utilisé à ce moment par l'autre réseau.

Le Tableau 8 donne des exemples de systèmes AMRF.

TABLEAU 8

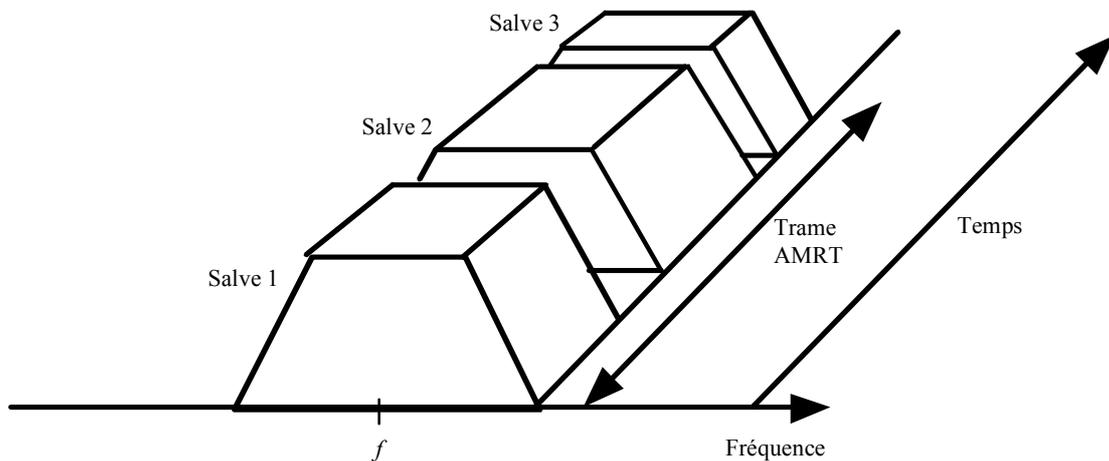
**Exemples de systèmes AMRF – Systèmes Inmarsat du type OSG – (Rec. UIT-R M.1184)**

Système	A	B	M	Aéronautique
Débit de données dans les canaux	Sans objet (analogique)	24 kbit/s	8 kbit/s	21 kbit/s
Modulation	MF	MDP-4 avec décalage	MDP-4 avec décalage	MDP-4 avec décalage
Espacement des canaux	50 kHz (espacement effectif 25 kHz)	20 kHz	10 kHz	17,5 kHz

**4.5.2.2.3 Accès multiple par répartition dans le temps**

L'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) est une autre méthode d'accès multiple couramment utilisée dans les systèmes de transmission numérique. La Fig. 17 représente une trame divisée en plusieurs intervalles de temps pour une porteuse dont la capacité est suffisante pour loger plusieurs canaux de transmission par satellite. Chaque intervalle de temps permet d'établir un canal entre une STP et une STM.

FIGURE 17  
AMRT



MSS-17

En AMRT, il est possible de réduire le nombre de porteuses par répéteur de satellite. Ce type d'accès multiple présente aussi l'avantage d'un fonctionnement souple: il est facile, par exemple, de doubler la capacité d'un canal de transmission, en utilisant deux intervalles de temps par trame. Par ailleurs, le débit de transmission d'une porteuse en AMRT est plus élevé, même dans le cas d'une STM qui ne nécessite qu'une petite capacité.

L'AMRT convient bien pour les répéteurs de satellite du type à régénération et pour l'exploitation avec liaisons inter-satellites.

Le Tableau 9 donne des exemples de systèmes AMRT.

TABLEAU 9

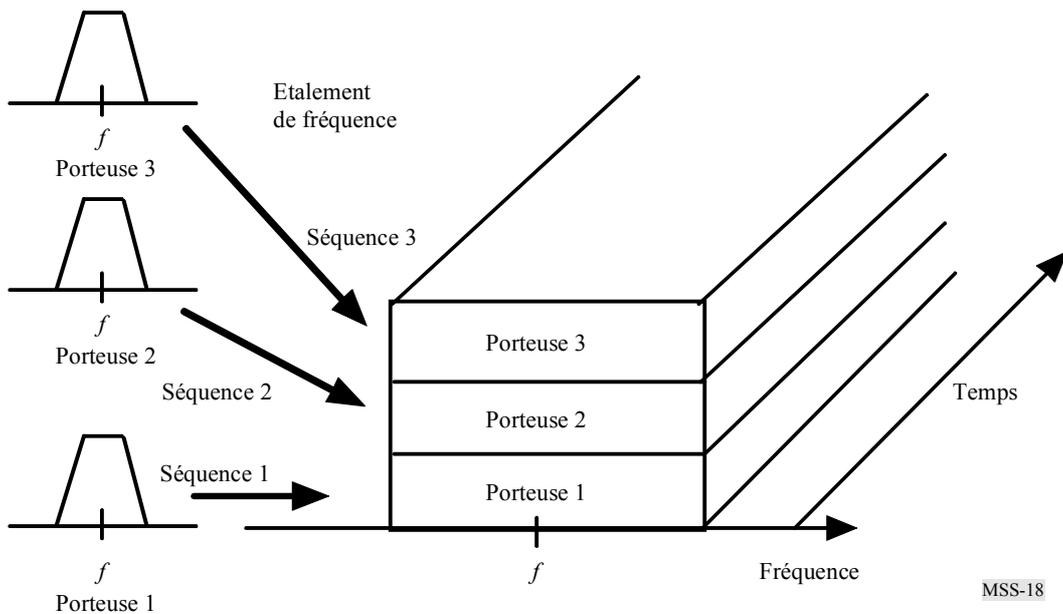
Exemples de systèmes AMRT – (Rec. UIT-R M.1184-1, Tableau 4a)

Système	Système A	Système F
Modulation	MDP-4	MDP-4
Technique duplex	DRT	DRF
Débit binaire	50 kbit/s	36 kbit/s
Largeur de bande	31,5 kHz	25 kHz
Durée de trame	90 ms	40 ms

#### 4.5.2.2.4 Accès multiple par répartition en code

L'accès multiple par répartition en code (AMRC) est une méthode introduite récemment dans les systèmes du SMS. La Fig. 18 montre comment une séquence d'étalement différente est appliquée à chaque porteuse numérique, pour donner une porteuse ayant une plus grande largeur de spectre. Ces porteuses à spectre plus large partagent la même bande de fréquences sur une liaison de transmission. La séquence d'étalement est conçue de telle sorte que chaque porteuse peut être séparée par désétalement, même après transmission commune avec d'autres porteuses. Toutes les porteuses AMRC sont générées par des séquences d'étalement qui diffèrent les unes des autres par la propriété d'orthogonalité. En raison de cette propriété, chaque code d'étalement est corrélé uniquement avec lui-même. Il est possible, par conséquent, de séparer un signal utile des autres porteuses en utilisant sa séquence d'étalement pour le désétalement.

FIGURE 18  
AMRC



La transmission avec étalement du spectre a pour effet de réduire la densité spectrale de puissance par porteuse. Par ailleurs, l'AMRC résiste bien au brouillage dans une bande étroite et est plus performant en matière de sécurité.

Le Tableau 10 donne un exemple de système AMRC.

TABLEAU 10

Exemple de système AMRC – (Rec. UIT-R M.1184-1, Tableau 4a)

Système	Système D
Modulation	MDP-4
Technique duplex	DRF
Débit des éléments	1,2288 Mélement/s
Largeur de bande RF	1,2 MHz

### 4.5.3 Conception des liaisons

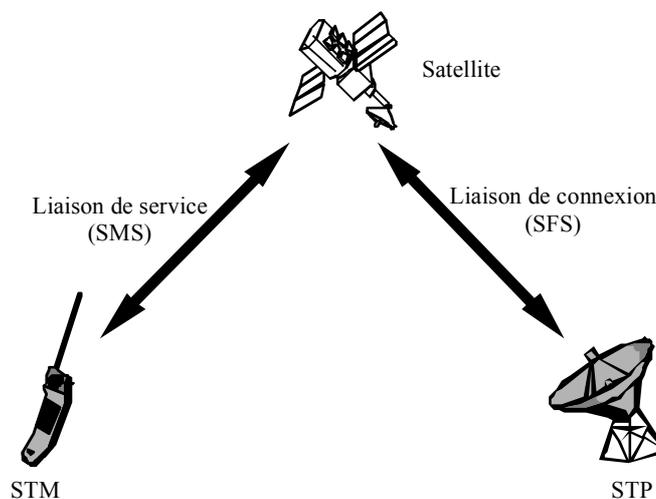
La conception des liaisons des systèmes du SMS doit se faire avec grand soin, en tenant compte d'un certain nombre de limitations qui ont été signalées plus haut. La présente section traite du concept technique de base de cette opération, compte tenu de la structure et des conditions d'exploitation des systèmes du SMS.

#### 4.5.3.1 Structure d'une liaison mobile par satellite

Une liaison mobile par satellite établit une connexion entre une STP et une STM par l'intermédiaire d'un satellite. Les Recommandations UIT-R M.546 et UIT-R M.827 décrivent un modèle de circuit fictif de référence pour ces liaisons. La partie d'une liaison mobile par satellite comprise entre la station passerelle et le satellite s'appelle liaison de connexion (voir la Fig. 19). Pour les satellites OSG comme pour les non OSG, la liaison de connexion fait partie du SFS car la STP est une station radioélectrique fixe. L'autre partie de la liaison mobile par satellite, entre le satellite et la STM, est appelée liaison de service. Celle-ci fait partie du SMS car la STM est une station radioélectrique mobile.

FIGURE 19

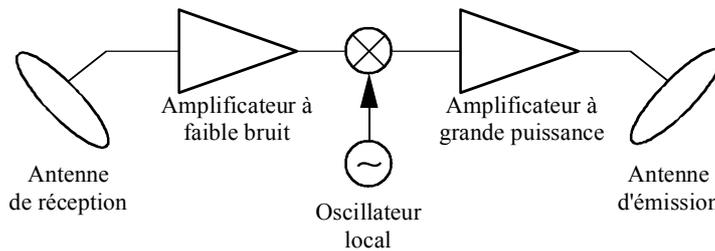
Modèle de référence d'une liaison mobile par satellite



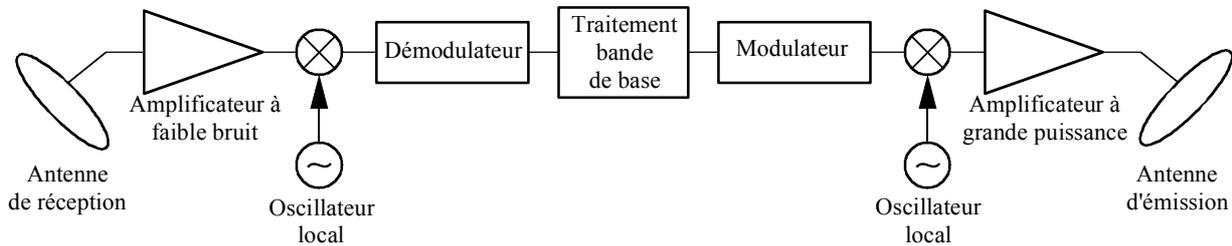
Il existe deux types de liaison mobile par satellite: une liaison transparente et une liaison du type à régénération. La Fig. 20 illustre la configuration de ces deux types de liaison. Une liaison transparente est une liaison à satellites, couramment utilisée, dans laquelle le répéteur du satellite se borne à convertir la fréquence radioélectrique de la liaison montante en fréquence radioélectrique de la liaison descendante, avec amplification de puissance sur la liaison descendante. De son côté, une liaison avec régénération fonctionne avec démodulation/modulation dans le répéteur du satellite. Le signal de la liaison montante, reçu par le satellite, est démodulé et le signal de bande de base est traité dans le satellite, ce qui met en oeuvre des fonctions souples telles que la commutation et l'acheminement. Le signal de la liaison descendante est produit par un modulateur embarqué, après le traitement du signal de bande de base.

FIGURE 20

Structure d'un répéteur de satellite



Type transparent



Type à régénération

MSS-20

Dans le cas des systèmes à régénération, il est possible de calculer la liaison séparément pour la liaison montante et la liaison descendante; en effet, les facteurs de dégradation sont découplés, entre ces deux dernières liaisons, par la démodulation/modulation embarquée. Pour les systèmes transparents, le travail de conception doit être fait pour l'ensemble de la liaison, à la fois pour la liaison montante et pour la liaison descendante. Le rapport  $C/N$  pour une liaison mobile par satellite du type transparent s'obtient à l'aide de la formule suivante à partir des rapports  $C/N$  respectifs de la liaison montante et de la liaison descendante:

$$(C/N)^{-1} = (C/N_{\uparrow})^{-1} + (C/N_{\downarrow})^{-1}$$

Les systèmes modernes du SMS comportent des liaisons inter-satellites qui relient les satellites directement entre eux. Ces liaisons peuvent, par exemple, établir une connexion entre un satellite et plusieurs satellites voisins dans une constellation de satellites non OSG. Les liaisons intersatellites permettent de réduire le nombre des bonds par satellite dans les cas où chaque satellite ne donne qu'une couverture limitée de la surface terrestre. Ces liaisons sont généralement mises en oeuvre avec des systèmes à satellites du type à régénération, en raison principalement de leur souplesse de connexion dans le satellite.

#### 4.5.3.2 Conception des liaisons pour les systèmes du SMS

##### a) *Contraintes s'appliquant à la conception des liaisons du SMS*

Les systèmes du SMS sont soumis à diverses contraintes propres à ce service. Les conditions indiquées ci-après correspondent à des limitations importantes de la conception des liaisons du SMS.

- La p.i.r.e. d'une STM est limitée.
- La valeur du rapport  $G/T$  d'une STM est faible.
- On a besoin d'un marge importante pour combattre les effets d'un certain nombre de facteurs de dégradation: erreur de pointage de l'antenne du terminal mobile, évanouissements dus à la propagation par trajets multiples, évanouissements dus aux occultations, etc.

La p.i.r.e. et le rapport  $G/T$  ont été améliorés dans les satellites mis en service récemment, mais ces caractéristiques continuent à imposer des contraintes dans la conception des liaisons. Les produits d'intermodulation peuvent avoir une influence sur la conception des liaisons de certains systèmes du SMS dans lesquels plusieurs porteuses sont amplifiées collectivement par un répéteur de satellite dont le fonctionnement est non linéaire.

D'une manière générale, le partage des fréquences dans le même canal avec d'autres services n'est pas chose courante dans les bandes de fréquences attribuées au SMS. Dans de nombreux cas, la conception des liaisons de ce service n'est pas influencée par les brouillages dans le même canal. D'un autre côté, le niveau de réception dans les STM est tellement bas qu'il faut prévoir une protection suffisante contre les émissions hors bande des émetteurs à grande puissance d'autres services fonctionnant dans les bandes adjacentes.

##### b) *Critères pour la conception des liaisons du SMS*

La conception des liaisons doit satisfaire un certain nombre de critères pour fournir la qualité de transmission requise en présence des diverses contraintes. En général, on spécifie a priori le seuil de qualité de transmission. En transmission numérique, on fixe la valeur seuil du TEB, par exemple  $1 \times 10^{-2}$ . On spécifie ensuite l'objectif de qualité de façon telle que le TEB de la liaison soit meilleur que la valeur seuil pendant au moins un pourcentage de temps donné, par exemple 99%.

Etant donné une valeur seuil de TEB, on calcule tout d'abord la valeur seuil de  $C/N$  en considérant la courbe  $TEB = f(C/N)$  de la technique de modulation utilisée. A noter qu'il faut prendre en considération l'amélioration apportée par la correction des erreurs. Pour réaliser l'objectif de qualité, il faut prévoir une marge suffisante, afin de neutraliser divers facteurs de dégradation comme l'erreur de pointage des antennes et les évanouissements. Pour ce faire, on a besoin de données statistiques, par exemple la distribution cumulative des évanouissements. En consultant ces données, le concepteur de la liaison peut faire en sorte que le niveau des évanouissements ne dépasse pas  $M$  dB pendant 99% du temps. Il est facile ensuite de déterminer la valeur requise de  $C/N$  correspondant à une condition de fonctionnement nominale, à l'aide de la formule:

$$(C/N)_{nominal} = (C/N)_{seuil} + M \quad \text{dB}$$

Avec le  $C/N$  ainsi obtenu, on peut garantir un TEB meilleur que la valeur seuil pendant un pourcentage de temps donné. Les objectifs de qualité et les méthodes permettant de déterminer ces objectifs sont décrits dans de nombreuses Recommandations UIT-R, par exemple UIT-R M.1181, UIT-R M.1037, UIT-R M.1229 et UIT-R M.1228.

La disponibilité est un autre critère qui intervient dans la conception des liaisons. Les liaisons mobiles par satellite doivent être conçues de manière telle qu'elles soient disponibles pendant un pourcentage de temps donné. La définition de la disponibilité est donnée dans les Recommandations UIT-R M.828 et UIT-R M.1180.

Dans le cas des systèmes de type transparent, la liaison de service impose à la conception des liaisons des contraintes plus lourdes que la liaison de connexion. Au stade de la conception de l'ensemble de la liaison, il faut généralement une marge plus importante pour la liaison de service. Un plus grand pourcentage de temps sera aussi prévu pour la disponibilité sur la liaison de service.

#### 4.5.3.3 Exemple de calcul de la liaison aller

La liaison aller est une liaison par satellite qui va de la STP à la STM en passant par le satellite.

Equipée d'un grand amplificateur de puissance et d'une grande antenne, la STP a généralement une p.i.r.e. suffisante. La liaison de connexion est donc en général stable, à l'exception des liaisons de connexion transmettant à 20/30 GHz, pour lesquelles il faut prévoir une marge importante contre les évanouissements dus à la pluie. Le rapport  $C/N$  sur la liaison montante pour les conditions nominales,  $(C/N)_\uparrow$ , se détermine comme indiqué ci-après.

$$\begin{aligned}(C/N)_\uparrow &= (C/N_s)_\uparrow + M_\uparrow && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.\text{passerelle} - L_\uparrow + G/T_{sat} - 10 \log k - 10 \log B\end{aligned}$$

où:

$(C/N_s)_\uparrow$ : valeur seuil du rapport  $C/N$  sur la liaison montante pour la liaison de connexion

$M_\uparrow$ : marge sur la liaison montante pour la liaison de connexion

*p.i.r.e.passerelle*: p.i.r.e. de la STP

$L_\uparrow$ : affaiblissement de propagation sur la liaison montante à la fréquence de la liaison de connexion

$G/T_{sat}$ : rapport  $G/T$  du satellite pour la liaison de connexion

$k$ : constante de Boltzmann

$B$ : largeur de spectre d'une porteuse.

Si l'on considère la densité spectrale de la puissance de bruit,  $N_0$ , on calcule comme suit le rapport des densités de puissance porteuse/bruit pour la valeur de seuil:

$$\begin{aligned}(C/N_{0s})_\uparrow &= (C/N_0)_\uparrow - M_\uparrow && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.\text{passerelle} - L_\uparrow + G/T_{sat} - 10 \log k - M_\uparrow\end{aligned}$$

La liaison descendante ( $\downarrow$ ) est généralement plus sensible en raison de la faible valeur du rapport  $G/T$  de la STM. Il faut en général prévoir une marge plus importante pour la liaison de service, afin de neutraliser les divers facteurs de dégradation mentionnés plus haut. Le rapport  $C/N$  pour la liaison descendante se calcule comme suit:

$$\begin{aligned}(C/N)_\downarrow &= (C/N_s)_\downarrow + M_\downarrow && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.\text{sat} - L_\downarrow + G/T_{STM} - 10 \log k - 10 \log B\end{aligned}$$

où:

$(C/N_s)_\downarrow$ : valeur seuil du rapport  $C/N$  sur la liaison descendante pour la liaison de service

$M_\downarrow$ : marge sur la liaison descendante pour la liaison de service

*p.i.r.e.sat*: p.i.r.e. du satellite

$L_\downarrow$ : affaiblissement de propagation sur la liaison descendante à la fréquence de la liaison de service

$G/T_{STM}$ : rapport  $G/T$  de la STM.

Si l'on considère la densité spectrale de la puissance de bruit,  $N_0$ , on calcule comme suit le rapport des densités de puissance porteuse/bruit pour la valeur de seuil:

$$\begin{aligned} (C/N_{0s})_{\downarrow} &= (C/N_0)_{\downarrow} - M_{\downarrow} && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.sat - L_{\downarrow} + G/T_{STM} - 10 \log k - M_{\downarrow} \end{aligned}$$

On calcule ensuite le rapport  $C/N_0$  pour l'ensemble de la liaison aller, au niveau de seuil:

$$(C/N_{0s})^{-1} = (C/N_{0s})_{\uparrow}^{-1} + (C/N_{0s})_{\downarrow}^{-1}$$

Dans le cas de l'amplification commune de plusieurs porteuses par un répéteur de satellite non linéaire, le calcul de  $C/N_0$  au niveau de seuil doit tenir compte du bruit d'intermodulation, soit:

$$(C/N_{0s})^{-1} = (C/N_{0s})_{\uparrow}^{-1} + (C/IM_0)^{-1} + (C/N_{0s})_{\downarrow}^{-1}$$

où:

$(C/IM_0)$ : rapport des densités de puissance porteuse/bruit.

Le Tableau 11 donne un exemple numérique.

TABLEAU 11

**Exemple de calcul d'une liaison aller**

Fréquence sur la liaison montante	6 GHz
<i>p.i.r.e.passerelle</i>	52,0 dBW
$L_{\uparrow}$	201,3 dB
$G/T_{sat}$	-17,0 dB/K
$M_{\uparrow}$	1,0 dB
$C/N_{0\uparrow}$	61,3 dB(Hz)
$C/IM_0$	60,0 dB(Hz)
Fréquence sur la liaison descendante	1,5 GHz
<i>p.i.r.e.sat</i>	17,5 dBW
$L_{\downarrow}$	188,6 dB
$G/T_{STM}$	-4,0 dB/K
$M_{\downarrow}$	5,0 dB
$C/N_{0\downarrow}$	48,5 dB(Hz)
$C/N_0$	48,0 dB(Hz)

#### 4.5.3.4 Exemple de calcul d'une liaison retour

La liaison retour est une liaison par satellite qui va de la STM à la STP en passant par le satellite.

Une contrainte importante dans la conception de la liaison montante est la valeur limitée de la p.i.r.e. de la STM. La conception de la liaison descendante est relativement facile, en raison de la valeur élevée du rapport  $G/T$  de la STP de la liaison de connexion. Comme précédemment, on procède de la manière suivante pour calculer le rapport des densités de puissance porteuse/bruit au niveau de seuil, pour la liaison montante et la liaison descendante:

$$\begin{aligned} (C/N_{0s})_{\uparrow} &= (C/N_0)_{\uparrow} - M_{\uparrow} && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.STM - L_{\uparrow} + G/T_{sat} - 10 \log k - M_{\uparrow} \\ (C/N_{0s})_{\downarrow} &= (C/N_0)_{\downarrow} - M_{\downarrow} && \text{dB} \\ &= p.i.r.e.sat - L_{\downarrow} + G/T_{passerelle} - 10 \log k - M_{\downarrow} \end{aligned}$$

La valeur totale de  $C/N_0$  pour la liaison retour, compte tenu du bruit d'intermodulation, a pour expression:

$$(C/N_{0s})^{-1} = (C/N_{0s})_{\uparrow}^{-1} + (C/IM_0)^{-1} + (C/N_{0s})_{\downarrow}^{-1}$$

Le Tableau 12 donne un exemple numérique.

TABLEAU 12

#### Exemple de calcul d'une liaison retour

Fréquence sur la liaison montante	1,6 GHz
$p.i.r.e.STM$	30,0 dBW
$L_{\uparrow}$	190,3 dB
$G/T_{sat}$	-14,0 dB/K
$M_{\uparrow}$	5,0 dB
$C/N_{0\uparrow}$	49,3 dB(Hz)
$C/IM_0$	67,0 dB(Hz)
Fréquence sur la liaison descendante	4 GHz
$p.i.r.e.sat$	-4,5 dBW
$L_{\downarrow}$	197,6 dB
$G/T_{passerelle}$	29,0 dB/K
$M_{\downarrow}$	1,0 dB
$C/N_{0\downarrow}$	54,5 dB(Hz)
$C/N_0$	48,1 dB(Hz)

#### Références bibliographiques

SPIPKER Jr., J. J. [1977] *Digital Communications by Satellite*. Prentice-Hall.

### Liste des abréviations couramment utilisées dans le domaine du SMS

ADS	Surveillance dépendante automatique ( <i>automatic dependent surveillance</i> )
AGCH	Canal de commande d'octroi d'accès ( <i>access grant channel</i> )
AMAD	Accès multiple avec assignation en fonction de la demande
AMRC	Accès multiple par répartition en code
AMRF	Accès multiple par répartition en fréquence
AMRT	Accès multiple par répartition dans le temps
ASN	Appel sélectif numérique
ATM	Gestion du trafic aérien ( <i>air-traffic management system</i> )
ATOP	Amplificateur à tube à ondes progressives
BCCH	Canal de commande de diffusion ( <i>broadcast channel</i> )
BOL	Début de vie ( <i>beginning of life</i> )
C/N	Rapport de puissance porteuse/bruit ( <i>carrier to noise power ratio</i> )
CAF	Commande automatique de fréquence
CAMR	Conférence administrative mondiale des radiocommunications
CMR	Conférence mondiale des radiocommunications
CNS	Communications, navigation et surveillance
DCAAS	Système d'assignation dynamique des canaux en fonction de l'activité observée ( <i>dynamic channel activity assignment system</i> )
DRA	Antenne à rayonnement direct ( <i>direct radiating antenna</i> )
DRF	Duplex à répartition en fréquence ( <i>frequency division duplex</i> )
DRT	Duplex à répartition dans le temps ( <i>time division duplex</i> )
ELT	Émetteur de localisation d'urgence ( <i>emergency locator transmitter</i> )
ESA	Agence spatiale européenne ( <i>european space agency</i> )
FCC	Federal Communications Commission
FOV	Champ de vision ( <i>field of view</i> )
G/T	Rapport gain/température de bruit d'un récepteur
GEO	Orbite géostationnaire de Terre ( <i>geostationary earth orbit</i> )
GLONASS	Système mondial de navigation par satellite ( <i>global navigation satellite system</i> )
GMPCS	Systèmes mobiles mondiaux de communications personnelles par satellite ( <i>global mobile personal communications by satellite</i> )
GPS	Système mondial de radiorepérage ( <i>global positioning system</i> )
GSM	Système mondial de communications mobiles ( <i>global system for mobile communications</i> )
IMT-2000	Télécommunications mobiles internationales 2000 ( <i>International Mobile Telecommunications-2000</i> )

INMARSAT	Organisation internationale des télécommunications mobiles par satellite ( <i>International Mobile Satellite Organization</i> )
INTELSAT	Organisation internationale des télécommunications par satellites ( <i>International Telecommunications Satellite Organization</i> )
IP	Protocole Internet ( <i>Internet protocol</i> )
IWU	Unité d'interfonctionnement ( <i>inter-working unit</i> )
LEO	Orbite terrestre basse ( <i>low-earth orbit</i> )
MDP-2	Modulation par déplacement de phase bivalente
MDP-4	Modulation par déplacement de phase quadrivalente
MEO	Orbite terrestre moyenne ( <i>medium earth orbit</i> )
MF	Modulation de fréquence
MoU	Mémorandum d'accord ( <i>memorandum of understanding</i> )
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NV	Non vocal
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
OMCI	Organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime
OMI	Organisation maritime internationale
OSG	Orbite des satellites géostationnaires
p.i.r.e.	Puissance isotrope rayonnée équivalente
PC	Ordinateur personnel ( <i>personal computer</i> )
QoS	Qualité de service ( <i>quality of service</i> )
RACH	Canal d'accès aléatoire ( <i>random access channel</i> )
RLS	Radiobalise de localisation des sinistres
RNIS	Réseau numérique avec intégration des services
RPDCP	Réseau public pour données à commutation par paquets
RTCA-MOPS	Normes de qualité opérationnelle minimale de la Radio Telecommunication Association ( <i>Radio Telecommunication Association minimum operational performance standards</i> )
RTPC	Réseau téléphonique public commuté
S/N	Rapport de puissance signal/bruit ( <i>signal to noise power ratio</i> )
SAR	Recherche et sauvetage ( <i>search and rescue</i> )
SARP	Normes et pratiques recommandées ( <i>standards and recommended practices</i> )
SAW	Onde acoustique de surface ( <i>surface acoustic wave</i> )
SCPC	Une seule voie par porteuse ( <i>single carrier per channel</i> )

SCR	Station coordonnatrice de réseau
SFS	Service fixe par satellite
SMAS	Service mobile aéronautique par satellite
SMDSM	Système mondial de détresse et de sécurité en mer
SMMS	Service mobile maritime par satellite
SMS	Service mobile par satellite
SMTS	Service mobile terrestre par satellite
SOLAS	Sauvegarde de la vie humaine en mer ( <i>safety of life at sea</i> )
STA	Surveillance terrienne aéronautique
STC	Station terrienne côtière
STM	Station terrienne mobile
STN	Station terrienne de navire
STP	Station terrienne passerelle
STT	Station terrienne terrestre
TEB	Taux d'erreur binaire
TT&C	Télécommande, télémessure et contrôle

## CHAPITRE 5

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES ET D'EXPLOITATION DE QUELQUES SYSTÈMES DU SMS EXISTANTS OU EN PROJET

On trouvera dans ce Chapitre la description des systèmes suivants du SMS:

- 5.1 MTSAT
- 5.2 Leo One
- 5.3 TMI
- 5.4 N-STAR
- 5.5 Globalstar
- 5.6 Inmarsat
- 5.7 Thuraya
- 5.8 FAISAT
- 5.9 New ICO
- 5.10 EMSAT

#### 5.1 Système de transport multifonctionnel par satellite (MTSAT)

##### 5.1.1 Vue d'ensemble du système

Dans le cadre du SMAS et du système complémentaire à satellite (SBAS, *satellite-based augmentation system*), le système MTSAT donne aux fournisseurs du service ATS et aux exploitants d'aéronefs de la région Asie-Pacifique la possibilité de mettre en oeuvre les systèmes CNS/ATM de l'OACI exploités pour le Japon par le Civil Aviation Bureau Japan (JCAB).

Les deux missions du MTSAT sont une mission météorologique et une mission aéronautique. Cette dernière contribuera à la réalisation de chacun des éléments des systèmes CNS/ATM de l'OACI, à savoir la communication, la navigation et la surveillance.

Le système MTSAT a été conçu pour satisfaire aux SARP par l'OACI ; il est capable d'interfonctionnement avec le système à satellites existant. Deux systèmes MTSAT couvriront l'espace aérien sur la plus grande partie de la région Asie-Pacifique. Grâce à ce système, les fournisseurs de services ATS et les opérateurs d'aéronefs de la région Asie-Pacifique disposeront de systèmes de communication, de navigation et de surveillance extrêmement fiables.

Pour garantir la continuité du service, même en cas de catastrophes naturelles, on a installé deux centres d'exploitation de satellites aéronautiques en deux points du territoire japonais: l'un à Kobe, à quelque 500 km à l'ouest de Tokyo, l'autre à Hitachi-ota, à 100 km environ au nord-est de Tokyo.

### 5.1.2 Architecture et caractéristiques techniques du système

La Fig. 21 représente la zone de service du faisceau à couverture mondiale du système MTSAT et la Fig. 22 représente les zones de services des faisceaux ponctuels.

FIGURE 21

Faisceau à couverture mondiale du système MTSAT

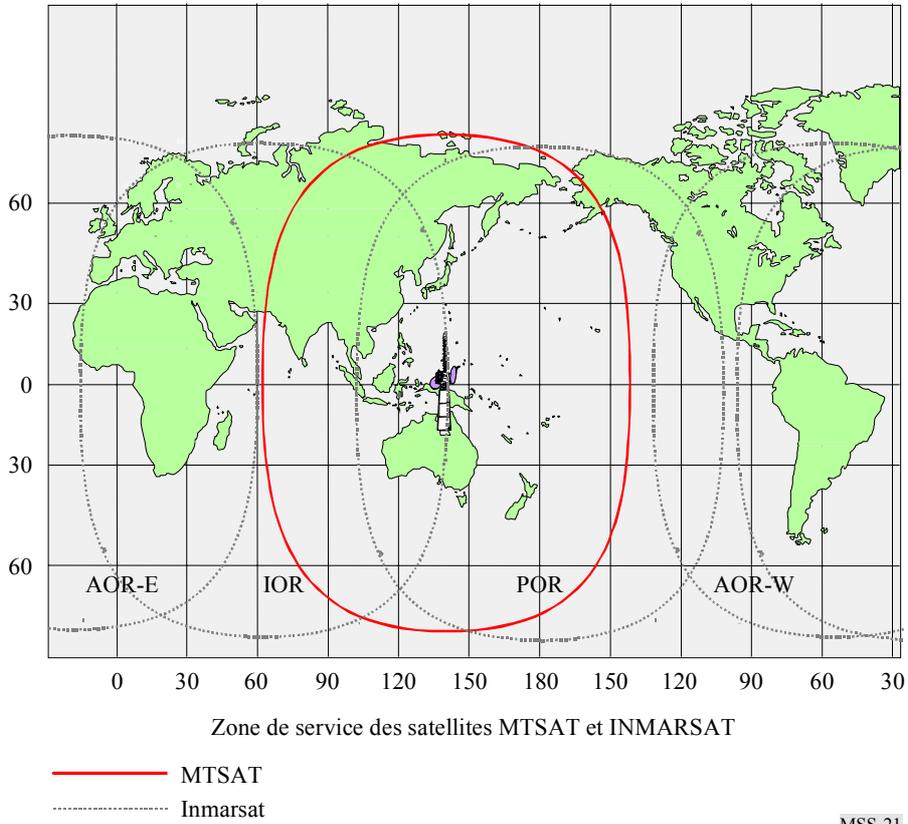
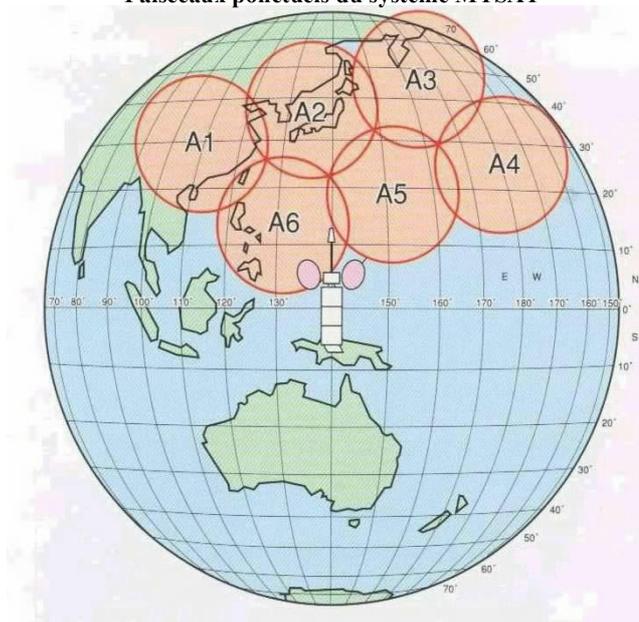


FIGURE 22

Faisceaux ponctuels du système MTSAT



D'une façon générale, les caractéristiques des signaux du système MTSAT sont conformes aux spécifications de l'Annexe 10 de l'OACI (SARP), au SDM d'Inmarsat ainsi qu'aux dispositions du Règlement des radiocommunications et des Recommandations de l'UIT-R. Ces caractéristiques sont résumées dans le Tableau 13.

**TABLEAU 13**  
**Caractéristiques des signaux du système MTSAT**

Canal		Direction	Utilisation	Débit du porteur	Modulation	Largeur de bande
P	Mode paquet/MRT	Liaison aller	Signalisation et messages transmis en permanence à partir des STP	600 bit/s	CED 1/2 MDP-2-A	5 kHz
				10,5 kbit/s	1 CED 1/2 MDP-4-A	10 kHz
R	Accès aléatoire (ALOHA à segmentation temporelle)	Liaison retour	Signalisation et messages	600 bit/s	CED 1/2 MDP-2-A	2,5 kHz
				10,5 kbit/s	CED 1/2 MDP-4-A	10 kHz
T	Réservation AMRT	Liaison retour	Messages longs	600 bit/s	CED 1/2 MDP-2-A	2,5 kHz
				10,5 kbit/s	CED 1/2 MDP-4-A	10 kHz
C	Mode circuit SCPC	Liaison aller	Messages vocaux	21 kbit/s	CED 1/2 MDP-4-A	17,5 kHz
		Liaison retour		8,4 kbit/s	CED 2/3 MDP-4-A	7,5 kHz

### 5.1.3 Secteur spatial du système MTSAT

Le Tableau 14 donne les principales caractéristiques du secteur spatial du système MTSAT.

**TABLEAU 14**  
**Secteur spatial du système MTSAT**

Caractéristique	Spécification			
Orbite des satellites	135° E, 140° E, 145° E ± 0,1°			
Type de satellite	Commande d'orientation triaxiale			
Masse initiale en orbite	3,3 tonnes			
Masse à sec	1,4 tonne			
Durée de vie	Supérieure à 10 ans			
Liaison	Liaison de connexion		Liaison de service	
Bande de fréquences	14/11 GHz	30/20 GHz	1,6/1,5 GHz	
Faisceaux	4 ponctuels	3 ponctuels	Mondial	6 ponctuels
p.i.r.e. totale	27 dBW	27 dBW	40 dBW	43 dBW
G/T	-1 à -4 dB/K	-1 dB/K	-9 dB/K	-2 dB/K

## 5.1.4 Secteur terrien du système MTSAT

### 5.1.4.1 Stations terriennes au sol

Le Tableau 15 donne les principales caractéristiques des stations terriennes au sol du système MTSAT.

TABLEAU 15

#### Stations terriennes au sol du système MTSAT

Station terrienne	Kobe et Hitachi-ota	
Bande de fréquences	14/11 GHz	30/20 GHz
Diamètre d'antenne	13 m	13 m
p.i.r.e. totale	77,8 dBW	82,2 dBW
<i>G/T</i>	36,4 dB/K	38,7 dB/K

### 5.1.4.2 Station terrienne aéronautique

Le Tableau 16 résume les caractéristiques de la station terrienne aéronautique MTSAT, qui sont spécifiées sur la base de l'Annexe 10 de l'OACI (SARP) et du Module 2 SDM d'Inmarsat.

TABLEAU 16

#### Caractéristiques de la station terrienne aéronautique du système MTSAT (résumé)

Type	Antenne à faible gain	Antenne à gain élevé
<i>G/T</i>	meilleur que -26 dB/K	meilleur que -13 dB/K
p.i.r.e. maximum de la porteuse ( $P_{max}$ )	> 13,5 dBW	> 25,5 dBW
Plage de régulation de la puissance	Echelons de 1 dB de $P_{max}$ à $P_{max} - 15$ dB	Echelons de 1 dB de $P_{max}$ à $P_{max} - 15$ dB
Caractéristiques de l'antenne	Equidirective	Orientable Ouverture de faisceau = 45°

### 5.1.5 Service et applications

Le système MTSAT offrira les possibilités suivantes: communication directe contrôleur-pilote par signaux vocaux (SAT-voice) et par liaison de données (CPDLC, *controller-pilot datalink communication*), information complémentaire pour le système GPS et ADS. Le MTSAT ne sera pas utilisé seulement pour acheminer les communications océaniques ATS dans les régions d'information de vol (FIR, *flight information regions*); il sera aussi mis à la disposition de la communauté aéronautique de la région Asie-Pacifique, pour service d'infrastructure d'aviation en vue de faciliter la mise en oeuvre des systèmes CNS/ATM de l'OACI.

Le SMAS assuré par le système MTSAT pour les STA peut être mis en interfonctionnement avec celui des réseaux Inmarsat.

#### 5.1.5.1 Services mobiles aéronautiques par satellite

Les fonctions des services mobiles aéronautiques par satellite (SMAS) du système MTSAT comportent la mise à disposition de toutes les communications définies par l'OACI: services ATS, contrôle de l'exploitation aéronautique (AOC, *aeronautical operational control*), communications administratives aéronautiques (AAC, *aeronautical administrative communications*) et communications aéronautiques pour passagers (APC, *aeronautical passenger communications*). Les prestataires de services ATS et les opérateurs d'aéronefs de la région Asie-Pacifique pourraient avoir accès à ces services de communication par l'intermédiaire de prestataires de services sur liaisons de données. Dans certains pays, la mise en oeuvre de stations terriennes au sol permettrait aussi un accès direct au MTSAT.

#### 5.1.5.2 MSAS: Système à satellite complémentaire de MTSAT

Le système MSAS (MSAS, *MTSAT satellite-based augmentation system*) est un système à satellites complémentaire (SBAS, *satellite-based augmentation system*) analogue au WAAS des Etats-Unis d'Amérique et à l'EGNOS européen. Le MSAS fournit aux aéronefs des informations GPS augmentées qui répondent aux exigences de performance de la navigation: intégrité, continuité et disponibilité, auxquelles il est impératif de satisfaire pour l'utilisation du GPS, seul auxiliaire de la navigation pour l'exploitation des aéronefs.

Les pays de la région Asie-Pacifique pourraient mettre en oeuvre le SBAS en utilisant le MTSAT, ce qui aboutirait au MSAS. Ces pays pourraient aussi mettre en oeuvre le SBAS à l'aide du système Inmarsat, par exemple le WAAS ou l'EGNOS. Pour pouvoir fournir aux aéronefs suffisamment d'information GPS augmentée, le MSAS et les autres SBAS (WAAS, EGNOS) devront être complétés par un certain nombre de stations de contrôle au sol (GMS, *ground monitoring stations*). Le nombre et l'emplacement des stations GMS nécessaires pour chaque pays dépendront des conditions à satisfaire en matière de niveau de performance des services de navigation et de réception GPS.

Dans le cadre du système MTSAT, l'organisme japonais JCAB a mis en oeuvre des stations de surveillance et de repérage (MRS, *monitoring and ranging stations*) en Australie et à Hawaii; quatre GMS et deux stations de contrôle principales (MCS, *master control stations*) au Japon. Dans ces conditions, les pays de la région Asie-Pacifique pourraient mettre en oeuvre le MSAS avec moins de stations GMS que pour d'autres systèmes SBAS. Comme la plus grande partie de la région Asie-Pacifique sera couverte par deux MTSAT, l'intégrité et la disponibilité du service seront meilleures qu'avec d'autres SBAS dans cette région.

Bien que chaque service SBAS (WAAS, EGNOS et MSAS) soit indépendant des autres, la JCAB, pour assurer des services SBAS sans discontinuité dans le monde entier, participe au SBAS Technical Interoperability Working Group (IWG), mis en place en 1997 de concert avec les Etats-Unis d'Amérique, l'Europe et le Canada. Le MSAS a été conçu et réalisé pour pouvoir interfonctionner avec le WAAS américain et l'EGNOS européen au niveau du signal électromagnétique. De ce fait, il est possible d'utiliser une avionique de navigation commune pour les trois systèmes SBAS.

## 5.2 Le système Leo One

### 5.2.1 Vue d'ensemble du système mobile à satellites Leo One

La conception du système mobile à satellites Leo One repose sur l'utilisation d'une constellation formée de 48 satellites sur LEO. Il a pour mission de fournir des radiocommunications pour transmission de données de haute qualité et de coût modique, à l'usage des entreprises commerciales et industrielles, des pouvoirs publics et des consommateurs dans le monde entier. La mise en service du système est prévue pour 2002. Leo One assurera des communications de paquets de données à faible débit selon la technique enregistrement et retransmission, la couverture étant réalisée, sans discontinuité, entre les cercles polaires Arctique et Antarctique.

### 5.2.2 Architecture systémique du réseau Leo One

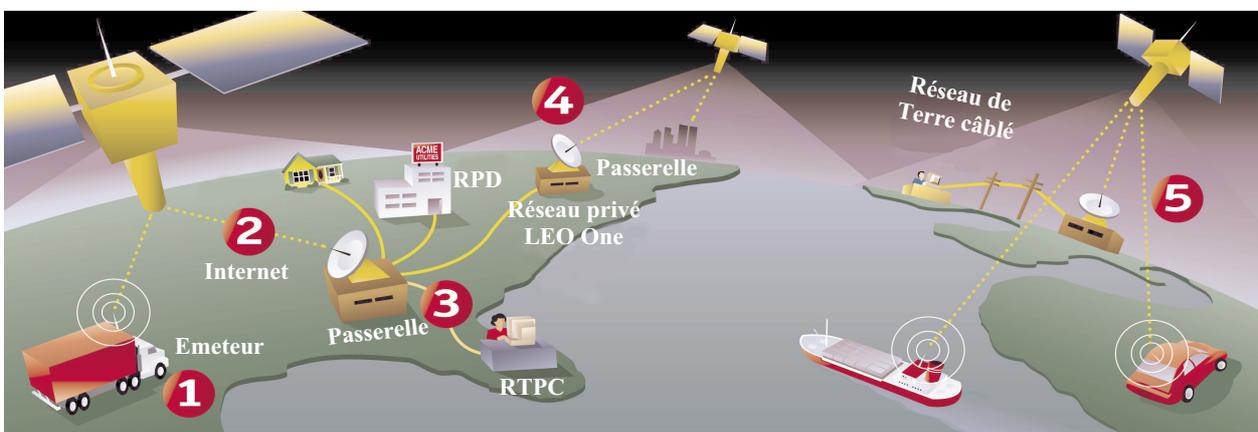
Le réseau Leo One (Fig. 23) fonctionne, en association avec des réseaux pour données de Terre dont il constitue un prolongement, par l'intermédiaire de stations terriennes passerelles qui réalisent l'interconnexion avec l'infrastructure de réseaux de Terre existants. Des terminaux d'utilisateur établissent des connexions avec les satellites et sont capables d'émettre et de recevoir des données numériques. Sur les liaisons montantes, les utilisateurs accèdent à plusieurs canaux et transmettent les données aux satellites à des débits compris entre 2,4 et 9,6 kbit/s. Les liaisons descendantes partant d'un satellite sont réparties sur la totalité de la zone de couverture des faisceaux du satellite; chaque utilisateur n'a accès qu'aux seules données qui sont destinées à son terminal.

FIGURE 23

#### Le réseau LEO – Illustration du fonctionnement

Les messages sont échangés entre les utilisateurs, personnes ou machines, dont l'un (ou les deux) est équipé d'un terminal de service LEO One pour communications par satellite.

1. Un terminal de service envoie un message au satellite Leo One le plus proche.
2. Le satellite retransmet le message à une passerelle, pour validation et recherche de l'acheminement optimal.
3. La passerelle retransmet le message au destinataire par la voie d'acheminement optimale: satellite, Internet, réseau privé pour données (RPD) ou le réseau téléphonique public commuté (RTPC).
4. Dans certains cas, la passerelle réceptrice achemine le message à une autre passerelle, puis sur un trajet de communication par satellite, pour la remise du message.
5. Les messages peuvent aussi émaner d'utilisateurs reliés au réseau de Terre câblé; être acheminés jusqu'à une passerelle Leo One; puis être remis à un terminal de service après avoir transité par un satellite Leo One.



Les satellites fonctionnent en mode d'enregistrement et retransmission pour la réception, la mise en mémoire et la transmission des données. Il y a chevauchement des zones de couverture (empreintes) des faisceaux des satellites Leo One sur la surface terrestre; le but est de réaliser des liaisons de communication en temps quasi réel pour les utilisateurs. Conjointement avec les stations terriennes passerelles, les satellites commandent l'accès des terminaux d'utilisateur au réseau. Les passerelles, en coopération avec le centre de gestion du réseau, gèrent le fonctionnement de celui-ci: acheminement des paquets, poursuite des satellites et éphéméride, facturation et base de données des abonnés.

### 5.2.2.1 Caractéristiques orbitales du système Leo One

Le Tableau 17 donne les caractéristiques orbitales de la constellation Leo One. Les plans orbitaux sont inclinés à 50°, ce qui permet d'avoir une couverture qui va du cercle polaire Arctique au cercle polaire Antarctique.

TABLEAU 17

#### Caractéristiques orbitales de la constellation Leo One

Caractéristique orbitale	Valeur
Nombre de satellites	48
Altitude (km)	950
Inclinaison (degrés)	50
Plans orbitaux	8
Nombre de satellites par plan	6
Ascension droite du noeud ascendant (degrés)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315

### 5.2.2.2 Secteur spatial (charge utile des satellites)

Dans le réseau Leo One, les liaisons dans le sens terminaux d'utilisateur vers satellites transmettent sur 149 MHz et les liaisons en sens inverse, sur 137 MHz. A chaque satellite sont associés 15 canaux par liaison montante de service et un canal par liaison descendante de service. On dispose en plus, sur chaque satellite, d'un canal de liaison de connexion montante à partir d'une passerelle et d'un canal de liaison de connexion descendante vers une passerelle. La masse d'un satellite au lancement est de 165 kg et la puissance de crête en fin de vie est de 550 W. La durée de vie nominale des satellites est de sept ans.

### 5.2.2.3 Terminaux mobiles

Le Tableau 18 donne les caractéristiques techniques des terminaux d'utilisateur mobiles des abonnés au système Leo One. Ces terminaux ont un volume d'environ 160 cm<sup>3</sup>, délivrent une puissance de sortie de 7 W, avec possibilité d'alimentation par batterie d'accumulateurs.

TABLEAU 18  
Terminaux d'abonné du système Leo One

Caractéristique technique	Valeur
<i>Liaison montante d'abonné</i>	
Bande de fréquences (MHz)	148-150,05
Puissance d'émission (W)	7
p.i.r.e. à l'émission (dBW)	8,5
Gain maximum de l'antenne d'émission	0 dBi
Largeur de bande des canaux (kHz)	15
Débit (kbit/s)	9,6/MDP-4 avec décalage
Polarisation (onde émise)	rectiligne
Rapport $G/T$ à la réception dans le satellite (dB/K)	-22,9
Gain maximum de l'antenne de réception	5,7 dBi
Diagramme de l'antenne de réception	Flux constant
Rapport $C/(I + N)$ (dB)	5,5
<i>Liaison descendante d'abonné</i>	
Bande de fréquences (MHz)	137-138, 400,15-401
Puissance d'émission (W)	17,5
p.i.r.e. à l'émission (dBW)	18,1
Gain maximum de l'antenne d'émission	5,7 dBi
Largeur de bande des canaux (kHz)	25      35
Débit (kbit/s)	24/MDP-4 avec décalage 9,6/MDF
Polarisation (onde émise)	Circulaire dextrogyre
Rapport $G/T$ à la réception par l'abonné (dB/K)	-30,8
Gain maximum de l'antenne de réception	0 dBi
Rapport $C/(I + N)$ (dB)	5,1

#### 5.2.2.4 Stations terriennes passerelles

Le Tableau 19 donne les caractéristiques techniques des terminaux Leo One utilisés comme stations terriennes passerelles.

TABLEAU 19

#### Stations terriennes passerelles du système Leo One

Caractéristique technique	Valeur
<i>Liaison montante de passerelle</i>	
Bande de fréquences (MHz)	148-150,05
Puissance d'émission (W)	1,2
p.i.r.e. à l'émission (dBW)	17,8
Gain maximum de l'antenne d'émission	18 dBi
Largeur de bande des canaux (kHz)	50
Débit (kbit/s)	50/MDP-4 avec décalage
Polarisation (onde émise)	Circulaire dextrogyre
Rapport $G/T$ à la réception dans le satellite (dB/K)	-22,9
Gain maximum de l'antenne de réception	5,7 dBi
Rapport $C/(I + N)$ (dB)	8,5
<i>Liaison descendante de passerelle</i>	
Bande de fréquences (MHz)	400,15-401
Puissance d'émission (W)	15
p.i.r.e. à l'émission (dBW)	17,5
Gain maximum de l'antenne d'émission	5,7 dBi
Largeur de bande des canaux (kHz)	60
Débit (kbit/s)	50/MDP-4 avec décalage
Polarisation (onde émise)	Circulaire dextrogyre
Rapport $G/T$ à la réception dans la passerelle (dB/K)	-9,9
Gain maximum de l'antenne de réception	17 dBi
Rapport $C/(I + N)$ (dB)	8,5

### 5.2.3 Service et applications

#### Exploitation du réseau

Les stations terriennes d'utilisateur fournissent des liaisons de transmission de données à destination des satellites pour l'émission et la réception de messages de données (voir la Fig. 23). Le message de l'émetteur parvient au satellite le plus proche en position de visibilité, d'où il est retransmis à la passerelle locale pour validation et acheminement optimal jusqu'au destinataire. Une vingtaine de STP sont interconnectées par l'intermédiaire d'un réseau de Terre fédérateur mondial Leo One. Dans le cas d'un destinataire mobile, le message est alors renvoyé au satellite et brièvement mis en mémoire (jusqu'à ce que le récepteur visé soit en vue), avant d'être remis à l'émetteur-récepteur du destinataire. Si nécessaire, on accélère la remise en faisant appel aux passerelles pour relayer les messages entre les satellites. Si le destinataire est fixe – cas d'une entreprise qui effectue la poursuite d'appareils distants installés dans un groupe de véhicules en mouvement, le message est remis au destinataire chargé du dispatching, par interconnexion avec le réseau de Terre fédérateur Leo One. Dans ce dernier exemple, la liaison finale du réseau fédérateur vers les locaux du client est établie par Internet (ligne commutée ou spécialisée). Le nombre de satellites et les inclinaisons orbitales sont tels qu'il y a toujours au moins un satellite en position de visibilité aux latitudes allant jusqu'à 64°. Au-delà, il peut y avoir un court temps d'attente. Chaque satellite donne une empreinte de faisceau qui couvre environ 12 millions de km<sup>2</sup>. Le système est capable d'assurer aux usagers des communications de données en temps quasi réel à des débits compris entre 2,4 et 9,6 kbit/s. Les Tableaux 20 et 21 donnent des exemples de calcul de liaison pour des stations terriennes d'utilisateur et passerelles dans le système Leo One.

En matière d'exploitation, les transmissions de données réalisées par les prestataires de services locaux permettront des applications hertziennes chronosensibles et à utilisation intensive de données, telles que les suivantes: inventaire, gestion de parcs de véhicules, surveillance d'installations, télécommande, lecture de compteurs, recherche de personnes alphanumérique bilatérale, courrier électronique, messagerie et localisation mobiles pour les entreprises de transport et d'expédition, acquisition de données, sécurité, recherches et sauvetage, données météorologiques, transactions commerciales.

#### Estimation des coûts

Le coût installé total des systèmes du réseau Leo One se situe entre 500 et 600 millions de dollars des Etats-unis d'Amérique (USD). Au terme de plusieurs années d'exploitation, on estime que le coût d'un terminal d'utilisateur sera inférieur à 100 USD. La redevance de service mensuelle pour l'utilisation du système et la transmission de données s'établirait entre 1 et 50 USD par terminal d'utilisateur, selon le volume de données transmis à destination et en provenance de l'utilisateur.

### 5.2.4 Caractéristiques spécifiques du système Leo One dans le SMS

Etant donné le nombre de satellites (48) et la grande inclinaison orbitale (50°), le système permet des communications en temps quasi réel sur toute la partie de la surface terrestre comprise entre les cercles polaires. Les satellites étant mis en orbite à faible altitude (950 km), on a des trajets de transmission courts, de sorte qu'on peut communiquer avec de faibles puissances d'émission dans les satellites et les terminaux des utilisateurs. Il en résulte une réduction des coûts afférents à l'ensemble du système et à la prestation du service. Avec des débits de données compris entre 2,4 et 9,6 kbit/s, on obtient des salves de paquets de données de courte durée (inférieure à 500 ms).

### 5.2.5 Site web du système Leo One

<http://www.leoone.com>.

TABLEAU 20

**Exemple de calculs de liaison pour transmissions de la station terrienne d'utilisateur vers le satellite dans le système Leo One**

	Elevation 15°		Elevation 90°	
	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Puissance d'émission en crête (W)	7	17,5	7	17,5
Gain max. de l'antenne d'émission (dB)	0	5,7	0	-2
Affaiblissement dû au pointage (dB)	0	0	0	0
p.i.r.e. (dBW)	8,5	18,1	8,5	10,4
Fréquence (MHz)	149,0	137,0	149,0	137,0
Distance oblique (km)	2 317	2 317	950	950
Perte par polarisation (dB)	3	3	3	3
Affaiblissement dû aux gaz (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
Affaiblissement de transmission total (dB)	146,7	146,0	139,0	138,2
Gain maximum de l'antenne de réception (dB)	5,7	0	-2	0
Affaiblissement dû au pointage (dB)	0	0	0	0
Affaiblissement dû à l'alimentation (dB)	1	1	1	1
Facteur de bruit du récepteur (dB)	3	3	3	3
Température de l'antenne (K)	288	760	288	760
Température de bruit de l'alimentation du récepteur (K)	438	438	438	438
Température de bruit du système sur l'antenne (K)	726	1 198	726	1 198
Rapport $G/T$ (dB/K)	-22,9	-30,8	-30,6	-30,8
Débit des salves de données non codées (kbit/s)	9,6	24	9,6	24
Valeur requise du rapport $E_b/N_0$ (dB(Hz))	7,5	7,5	7,5	7,5
Affaiblissement dû à la mise en oeuvre (dB)	2	2	2	2
Valeur requise du rapport $C/N_0$ (dB(Hz))	49,3	53,3	49,3	53,3
Marge de la liaison (dB)	18,1	16,7	18,2	16,7
Puissance surfacique maximum dans 4 kHz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-	-125,2	-	-125,1

TABLEAU 21

**Exemple de calculs de liaison pour transmissions de la STP  
vers le satellite dans le système Leo One**

	Elevation 15°		Elevation 90°	
	Liaison montante	Liaison descendante	Liaison montante	Liaison descendante
Puissance d'émission en crête (W)	150	5	150	5
Gain max. de l'antenne d'émission (dB)	18	5,7	18	-2
Affaiblissement dû au pointage (dB)	1	0	1	0
p.i.r.e. (dBW)	38,8	12,7	38,8	5,0
Fréquence (MHz)	150	400,5	150	400,5
Distance oblique (km)	2 317	2 317	950	950
Perte par polarisation (dB)	1	1	1	1
Affaiblissement dû aux gaz (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
Affaiblissement de transmission total (dB)	144,8	153,3	136,2	145,5
Gain maximum de l'antenne de réception (dB)	5,7	17	-2	17
Affaiblissement dû au pointage (dB)	0	1	0	1
Affaiblissement dû à l'alimentation (dB)	1	1	1	1
Facteur de bruit du récepteur (dB)	3	2	3	2
Température de l'antenne (K)	288	200	290	200
Température de bruit de l'alimentation du récepteur (K)	438	289	438	359
Température de bruit du système sur l'antenne (K)	726	489	728	559
Rapport $G/T$ (dB/K)	-22,9	-9,9	-30,6	-10,5
Débit des salves de données non codées (kbit/s)	50	50	50	50
Valeur requise du rapport $E_b/N_0$ (dB(Hz))	8,5	8,5	8,5	8,5
Affaiblissement dû à la mise en oeuvre (dB)	2	2	2	2
Valeur requise du rapport $C/N_0$ (dB(Hz))	57,5	57,5	57,5	57,5
Marge de la liaison (dB)	42,2	20,6	42,2	20,1
Puissance surfacique maximum dans 4 kHz (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-	-133,8	-	-133,8

### **5.3 Le système mobile à satellites canadien de TMI Communications**

#### **5.3.1 Introduction**

TMI Communications est une société canadienne qui fournit des solutions modernes en matière de réseaux de télécommunication. Ces solutions sont mises en oeuvre, par l'intermédiaire du satellite de TMI, à l'intention de clients d'Amérique du Nord, des régions septentrionales de l'Amérique du Sud, de l'Amérique centrale, de la Caraïbe, de Hawaï, jusqu'à des distances de quelque 400 km en mer.

Au début des années 80, le Gouvernement canadien prit conscience du fait suivant: alors que les régions à forte densité de population du Canada bénéficiaient de services de télécommunication qui comptaient parmi les meilleurs du monde, les services mobiles étaient insuffisants sur les milliers de kilomètres d'autoroutes et dans les immenses régions du pays où la population est clairsemée. Les premières études et expériences réalisées par le Département des communications du Canada confirmèrent la possibilité de communiquer à l'aide de petits terminaux transportables, par l'intermédiaire de satellites, et le Gouvernement établit un programme de démonstration visant à définir et à mettre en oeuvre un programme expérimental canadien de communications mobiles. Les études de viabilité commerciale ayant donné des résultats positifs, le programme de démonstration fut converti, en 1984, en un programme de communications mobiles commerciales par satellite. Ce fut l'oeuvre de Telesat Canada, l'opérateur des communications nationales par satellite du Canada.

TMI Communications, fondée en 1988, a pour mandat de développer, construire et exploiter le premier réseau canadien de télécommunications mobiles par satellite. La société est la propriété de BCE Inc., qui est un des plus grands groupes mondiaux dans le domaine des télécommunications et des médias, et un des plus importants opérateurs de télécommunication d'Amérique du Nord.

TMI Communications et American Mobile Satellite Corporation (AMSC) – aujourd'hui Motient – opérateur de télécommunications mobiles par satellite aux Etats-Unis, ont signé avec SPAR Aerospace Limited et Hughes Aircraft Co. un contrat pour l'acquisition en commun de deux engins spatiaux presque identiques, afin de pouvoir bénéficier du partage des dépenses non récurrentes afférentes au programme. Par ailleurs, TMI Communications et Motient ont signé un accord d'exploitation commune qui prévoit, entre autres, un soutien mutuel en orbite entre les satellites des deux sociétés pour la protection contre des pannes catastrophiques de ces satellites.

En 1996, moins de dix ans après sa création, TMI Communications a achevé ses travaux de recherche-développement, lancé son premier satellite et a commencé à offrir des services de communications mobiles à des clients sur tout le territoire canadien.

Depuis 1996, TMI Communications a mis en oeuvre avec succès toute une série de services mobiles: téléphonie, transmissions de données commutées, télécopie, dispatching radioélectrique et transmissions de données par paquets.

Le mandat de TMI Communications portait sur la maîtrise d'oeuvre de la construction, des essais et du lancement du satellite, la construction du secteur terrien du réseau et l'octroi de licences pour la fabrication des équipements mobiles. TMI a conclu des accords de partenariat avec des distributeurs, des prestataires de services et des revendeurs de valeur ajoutée pour développer des solutions novatrices. Pour plus d'information, on se reportera au site <http://www.tmisolutions.com>.

### 5.3.2 Description du système

Le système mobile à satellites (MSAT) canadien dessert une vaste population d'utilisateurs qui génèrent pour la plupart un volume de trafic modeste et intermittent. Il permet à des terminaux mobiles (MT) de communiquer avec une station terrienne de liaison de connexion (FES, *feederlink earth station*) qui fournit l'accès au système, au RTPC ou aux réseaux publics pour données à commutation.

Les principaux éléments du système MSAT sont, d'une part, le secteur spatial, qui comprend le satellite et le centre de contrôle du satellite, et le secteur terrien, composé du système de contrôle du réseau (SCR), de la station FES et des terminaux MT.

Le système MSAT permet des communications à commutation de circuits et à commutation par paquets. Par son intermédiaire, les terminaux mobiles fonctionnant avec commutation de circuits communiquent avec la station de base FES pour les services de réseaux privés, *via* la FES passerelle à destination du RTPC, de réseaux pour données ou d'autres terminaux MT. Les terminaux mobiles fonctionnant avec commutation par paquets communiquent par l'intermédiaire d'une «station pivot» pour données qui applique des protocoles de paquets de données tels que X.25.

L'accès des utilisateurs au satellite est régi par un centre de contrôle du réseau (NCC, *network control center*). La plupart des services fonctionnent en AMRF, avec des canaux ayant une largeur de bande nominale de 6 kHz. Le NCC assigne les fréquences aux utilisateurs selon le principe «premier entré premier sorti» (FIFO, *first in first out*). Un terminal MT lance un appel par l'intermédiaire d'un canal de signalisation. Le NCC attribue un canal de communication libre au terminal et à la station FES, ici encore au moyen d'un canal de signalisation. A la fin de la communication, le canal est libéré et le NCC peut l'affecter à nouveau à un autre appel.

La zone de service du satellite MSAT se compose d'une zone de service de base et d'autres zones de service, qui sont accessibles à partir d'un satellite géostationnaire situé à 106,5° de longitude ouest. La zone de service de base accessible en bande L s'étend sur le Canada, le territoire continental des Etats-Unis d'Amérique et les eaux côtières jusqu'à la limite des eaux territoriales (200 milles nautiques). La zone de service de base accessible en bande Ku est identique à la précédente, à l'exclusion des eaux côtières. Les autres zones de service englobent Porto Rico, l'Alaska et Hawaii.

Les satellites MSAT assurent la couverture de la zone de service au moyen d'un total de six faisceaux ponctuels qui rayonnent en bande L. Cela facilite la réutilisation des fréquences et augmente la p.i.r.e. ainsi que le rapport *G/T* des satellites.

Pour les communications sur la liaison aller de la station FES jusqu'au satellite, on utilise les bandes Ku (13-13,15 et 13,2-13,25 GHz) avec cinq faisceaux utilisant chacun une largeur de spectre de 29 MHz pour la liaison descendante du satellite vers les terminaux MT, dans la bande 1 530-1 559 MHz: faisceau Est, Central, Mountain, Ouest et Alaska + Hawaii/Mexique + Porto Rico. L'isolation entre les faisceaux Ouest et Est de la bande L est suffisante pour permettre la réutilisation du spectre de cette bande dans chacun de ces faisceaux. Pour choisir un faisceau en bande L aux fins de la transmission sur une liaison aller, il suffit de loger la transmission FES vers satellite dans la portion de 29 MHz appropriée de la bande Ku affectée à la station montante.

Les communications en sens inverse du terminal MT jusqu'au satellite se font dans la bande L (1 631,5-1 660,5 MHz). Le répéteur inverse du satellite élève la fréquence de ces transmissions à partir des faisceaux en bande L et effectue la transmission sur la liaison descendante jusqu'à la station FES, dans des portions de 29 MHz juxtaposées de la bande Ku (10,75-10,95 GHz).

Pour faire face aux changements qui pourraient intervenir dans la répartition géographique du marché de MSAT au cours de la durée de vie d'exploitation du système, la charge utile a été calculée de façon à pouvoir concentrer dans un faisceau quelconque jusqu'à 50% de la puissance totale d'émission en radiofréquence dans la bande L. Une souplesse d'utilisation similaire est prévue en ce qui concerne la largeur de bande pouvant être assignée. Dans chaque bande de 29 MHz, les répéteurs aller et inverse sont équipés de huit filtres passe-bande pour ondes acoustiques de surface (SAW, *surface acoustic wave*) qui peuvent être mis en ou hors service par des commandes provenant du sol; ces filtres assurent une souplesse totale pour la répartition du spectre entre les faisceaux.

Les services de base à commutation de circuits sont des services à SCPC fonctionnant avec une largeur de bande nominale de 6 kHz, en mode AMRF. Dans les services à commutation par paquets, on associe des canaux appliquant le MRT, la technique Aloha à segmentation temporelle et l'AMRT, ici encore avec une largeur de bande nominale de 6 kHz.

Pour des informations techniques complémentaires, on consultera les références bibliographiques [1, 2, 3].

### 5.3.3 Secteur spatial

Le satellite MSAT est équipé du module de service (bus) HS601 de la Hughes Aircraft Co. (aujourd'hui Boeing). Ce module prend en charge un sous-système de communication bande L/bande Ku à grande puissance, mis au point par la SPAR Aerospace Ltd. (aujourd'hui EMS).

Le sous-système de communication comprend un répéteur aller fonctionnant avec conversion de la bande Ku à la bande L, qui relie les stations terriennes des liaisons de connexion aux terminaux mobiles au sol; et un répéteur inverse bande L à bande Ku, qui établit la communication du terminal MT vers la station FES.

Les principaux éléments des répéteurs sont les suivants: les récepteurs pour bande L et bande Ku; les éleveurs et abaisseurs de fréquence, qui desservent chacun un faisceau d'antenne; les amplificateurs à tube à ondes progressives (ATOP) linéarisés pour la bande Ku; les amplificateurs de puissance à semi-conducteurs (SSPA, *solid state power amplifiers*) pour la bande L avec leurs réseaux matriciels; les antennes, équipées de deux grands (5 m × 6 m) réflecteurs déployables pour la bande L, avec leurs éléments d'alimentation; et l'antenne pour bande Ku à réflecteur profilé, qui fournit un faisceau unique émission/réception à polarisation croisée rectiligne couvrant la totalité de la zone de service.

La capacité de puissance, le poids de la charge utile et le pouvoir de dissipation thermique du module HS601 sont bien adaptés à la charge utile du satellite à grande puissance MSAT, et son système de commande d'attitude assure un pointage précis des antennes souples, de grand diamètre, utilisées en bande L. Le satellite MSAT est exploité, sous contrat, par la société soeur de TMI, Telesat Canada. La sécurité de l'engin est assurée par son système de télémétrie et de commande fonctionnant dans les bandes 12/14 GHz avec cryptage des ordres. Le HS601 est complété par un système de propulsion à bipropergol pour le maintien en position, la commande d'attitude et pour les fonctions d'extension de l'apogée et du périhélie. La détermination et la commande d'attitude sont effectuées par un ordinateur embarqué qui agit sur la vitesse et sur la position d'un volant d'inertie. Le sous-système d'alimentation en énergie se compose des éléments suivants: un bus électrique unique stabilisé à 50 V, deux grands ensembles de trois panneaux solaires chargés de la poursuite du soleil et une batterie nickel-hydrogène unique pour le fonctionnement en position d'éclipse. La charge de la batterie est complètement automatique. Des éléments rayonnants orientés vers le nord et le sud dissipent les grandes quantités de chaleur engendrées par les amplificateurs SSPA. Le transport de la chaleur est facilité par des conduits caloriques.

Le Tableau 22 donne les principales caractéristiques du satellite MSAT.

TABLEAU 22  
Principales caractéristiques du satellite MSAT

Type d'engin spatial	HS601
Durée de vie en service	10 ans
Durée de la mission	12 ans
Poids au décollage (Ariane 4)	2 514 kg
Puissance fournie par les panneaux solaires (en fin de vie)	3,15 kW
Puissance de la charge utile (en fin de vie)	2,5 kW
Protection en cas d'éclipse	60% (puissance en RF)
p.i.r.e. en bande L (95% de la zone)	57,3 dB
en bande Ku	36 dBW
Rapport $G/T$ en bande L (95% de la zone)	+2,7 dB/K
en bande Ku	-3,6 dB/K
Position orbitale (Canada)	106,5° O

#### 5.3.4 Secteur terrien

Le secteur terrien du système MSAT se compose du système de commande du réseau (NCS, *network control system*), de la station terrienne de liaison de connexion et des terminaux mobiles.

Le système NCS comprend les éléments suivants: le centre d'exploitation du réseau (NOC, *network operations center*), qui contrôle et gère toutes les ressources du secteur spatial et du secteur terrien; le NCC, qui alloue aux MT des circuits demandés pour une période spécifiée, et les éléments de la station FES et des MT associés aux canaux de signalisation et qui sont nécessaires pour l'assignation des circuits et pour d'autres fonctions de commande du réseau.

Le centre NOC enregistre tous les terminaux MT avec leurs caractéristiques, prend les dispositions nécessaires pour que les MT autorisés accèdent au système, enregistre les données d'utilisation du système, aux fins de facturation et établit des statistiques de performance du réseau pour les besoins de la planification à long terme du système.

Le centre NCC assigne les canaux en mettant en oeuvre les moyens de signalisation et en ayant recours à un système d'accès multiple avec assignation prioritaire en fonction de la demande. Un terminal MT lance un appel par l'intermédiaire d'un canal de signalisation. Le centre NCC affecte un canal de communication libre au terminal et à la station FES en ayant recours, ici encore, au canal de signalisation. A la fin de la communication, le canal est libéré et est disponible pour être réaffecté par le NCC à un autre appel.

La station FES est un terminal fixe équipé d'une antenne de 11,0 m à gain élevé. Elle fournit des fonctions d'émission/réception en bande Ku pour la signalisation et les communications à destination du satellite. L'absorption atmosphérique peut varier considérablement sur les fréquences de la bande Ku en fonction des conditions météorologiques; pour cette raison, le satellite transporte une balise stable pour la bande Ku, qui effectue une régulation automatique du niveau d'émission, grâce à laquelle la puissance surfacique dans cette bande est maintenue à une valeur sensiblement constante dans le satellite.

Pour le terminal MT, on a choisi une architecture modulaire, avec trois unités de base: une interface externe, un émetteur-récepteur et une antenne. On dispose d'une grande variété d'interfaces pour mettre en oeuvre les diverses applications et options choisies. Le terminal de base est en interface avec un simple combiné téléphonique qui n'offre qu'un service avec commutation de circuits. Un terminal conçu pour toutes les options offre les possibilités suivantes: service téléphonique avec commutation de circuits et service de transmission de données avec commutation par paquets, interconnexion d'ordinateurs, claviers, assistants numériques personnels, affichages de données, télécopie, imprimantes, etc.

On dispose aussi de toute une variété de types d'antenne pour le terminal MT, avec des gains allant de 3 à 15 dBic. Ces gains s'obtiennent par utilisation de plusieurs types d'antenne, depuis les simples doublets croisés à bras retombants jusqu'aux réseaux de microrubans à pilotage électronique. Une avancée importante a été réalisée avec la mise au point d'antennes possédant de nombreuses qualités: performance élevée, fiabilité, coût modique et qualités esthétiques, qui sont capables de poursuivre le satellite MSAT quels que soient les déplacements du véhicule.

### **5.3.5 Services de communication**

#### **5.3.5.1 Service téléphonique à commutation de circuits**

Le service téléphonique à commutation de circuits de TMI Communications permet la communication au-delà des limites imposées aux services téléphoniques ou hertziens traditionnels. Non seulement l'abonné peut converser avec des correspondants qu'il serait impossible d'atteindre par d'autres moyens, mais il peut le faire de façon économique.

Ce service offre aux utilisateurs fixes et mobiles une série d'options vocales numériques de grand intérêt:

- renvoi d'appel (en cas d'occupation, de non-réponse ou inconditionnel);
- interdiction d'appel;
- appel en instance;
- conversation conférence (avec trois correspondants).

##### **5.3.5.1.1 Service de transmission de données avec commutation**

Le service de transmission de données avec commutation offert par TMI Communications est la solution idéale pour des applications telles que la surveillance et l'acquisition de données (*SCADA, supervisory control and data acquisition*), dans lesquelles on émet et on reçoit de grandes quantités de données. Ce service peut être utilisé dans les applications avec bureau fixe et bureau mobile, par exemple le transfert de fichiers, le courrier électronique, l'Internet et l'accès aux réseaux locaux d'entreprise (LAN).

Ce service établit un circuit spécialisé entre l'émetteur et le récepteur, comme dans le RTPC. Il est généralement taxé à la minute, à des fractions de minute (par exemple, par tranches de 30 s) ou à la seconde.

Le réseau de MTI Communications connecte les terminaux MT aux réseaux publics de téléphonie et de transmission de données, aux réseaux privés ou à d'autres terminaux MT, en réacheminant le trafic par l'intermédiaire du satellite.

##### **5.3.5.1.2 Service de télécopie**

Le service de télécopie de TMI Communications met à la disposition des utilisateurs un système efficace qui fonctionne sans erreurs. Les utilisateurs mobiles peuvent échanger des messages de télécopie avec des expéditeurs et des destinataires dans le monde entier, par l'intermédiaire du RTPC. Le service possède des caractéristiques spécifiques en matière d'enregistrement et retransmission, qui améliorent la productivité des télétravailleurs tels que nous les connaissons aujourd'hui.

L'interface réalise la connexion avec le port d'accès des données (port d'accès série) du terminal MT et avec un télécopieur standard, par l'intermédiaire d'un câble de modem série normalisé à 25 broches. Un système de télécopie du type à enregistrement et retransmission permet d'envoyer les messages sans

savoir si le télécopieur de destination est libre. Si ce télécopieur est occupé, le service fera plusieurs tentatives d'établissement de la connexion. S'il continue à rencontrer des signaux d'occupation, le service peut déposer le message dans la boîte à lettre de télécopie de l'abonné destinataire.

### **5.3.5.1.3 Service de dispatching radioélectrique**

Ce service de TMI Communications est un service de dispatching bidirectionnel de communications vocales ou un service vocal de diffusion unidirectionnelle. C'est une solution de remplacement économique à l'installation, la maintenance et le déplacement de systèmes de radiocommunication terrestres.

Ce service est fourni par un réseau hertzien du type à bouton poussoir de conversation qui fonctionne selon la formule des groupes de conversation, groupes d'utilisateurs qui utilisent en partage un canal radioélectrique. Chaque communicateur peut desservir jusqu'à 15 de ces groupes et chaque groupe peut comporter jusqu'à 10000 membres. Au moment de la mise en place des groupes de conversation, il est possible de fixer des ordres de priorité pour déterminer qui pourra écouter et parler au cours de chaque session.

Les utilisateurs ont aussi la possibilité d'entrer dans un groupe de conversation par commutation à partir du RTPC et de quitter un groupe de conversation selon le même procédé pour retourner au RTPC.

Le réseau de TMI Communications se comporte essentiellement comme une tour de radiocommunications: grâce à ce réseau, le continent tout entier devient une cellule unique, avec émission de signaux vers des abonnés au sol et réception de signaux provenant de ces abonnés. Le service TMI de dispatching radioélectrique des communications peut aussi être configuré pour fournir un surcroît de sécurité aux abonnés.

### **5.3.5.2 Services de transmission de données par paquets**

Il est essentiel de pouvoir transmettre des données vitales entre les entreprises, que ce soit pour recueillir des informations en provenance de poids lourds ou de matériel roulant circulant au loin, pour surveiller à distance le fonctionnement d'équipements de construction ou pour recueillir des renseignements figurant dans les documents douaniers des véhicules de livraison.

Les services de transmission de données par paquets de TMI Communications accélèrent et valorisent la transmission de données à partir de sites isolés ou d'unités mobiles.

Ces services fournissent des applications de ces transmissions hertziennes, telles que les suivantes: gestion des parcs de véhicules et des opérations de chargement, vérification des cartes de crédit, courrier électronique, signalisation de la position des véhicules, informatique mobile et diffusion de messages de données.

Les transmissions effectuées dans les services de données par paquets bénéficient d'un très haut degré de sécurité. Afin d'empêcher toute utilisation irrégulière ou frauduleuse du service, chaque correspondant doit être enregistré et recevoir de TMI l'autorisation d'accès au réseau. Le système protège aussi contre l'utilisation frauduleuse grâce à une clé de sécurité d'accès qui est propre à chaque terminal mobile.

### **5.3.6 Références bibliographiques**

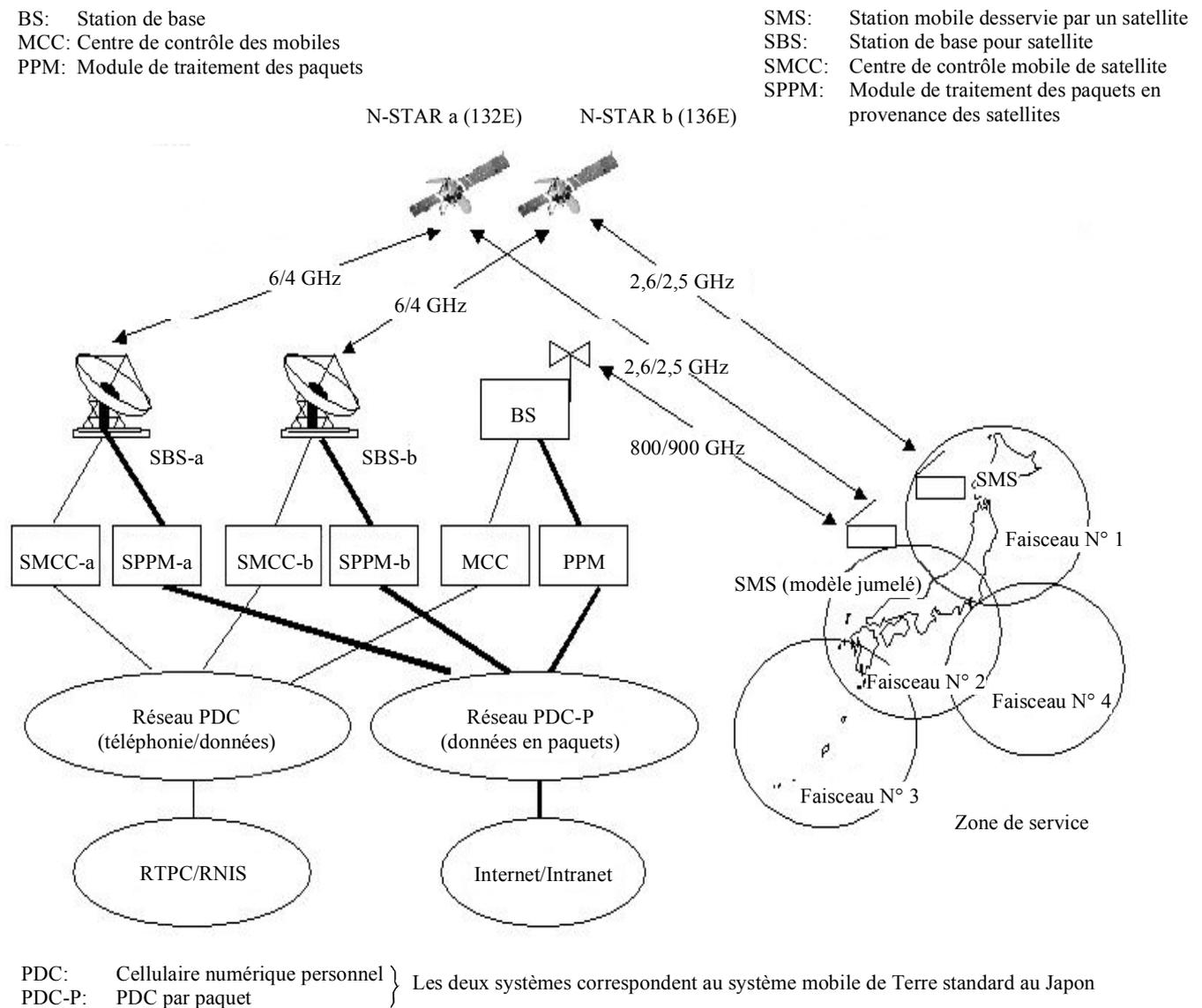
- [1] BERTENYI, E. [1992] The Canadian MSAT System. Proceedings of Satellite Symposia 1 & 2: Navigation & Mobile Communications, and Image Processing, GIS & Space-assisted Mapping, Conférence «International Space Year», Munich, Allemagne, 30 mars-4 avril 1992 (ESA ISY-2, juillet 1992).
- [2] BERTENYI, E. [1991] The North American MSAT System, Elsevier Space Communications 8, p. 295-302.
- [3] BERTENYI, E. et RAHMAN, F. [1992] The Mobile Satellite System of Telesat Mobile Inc. (IAF-92-0400), 43ème Congrès de la Fédération internationale astronautique, 28 août-5 septembre 1992, Washington, DC.

## 5.4 Le système mobile de télécommunications par satellite N-STAR

### 5.4.1 Vue d'ensemble

On a développé, au Japon, un système moderne de télécommunications mobiles nationales par satellite, pour élargir de façon économique la zone de service des réseaux mobiles terrestre et maritime. Ce système utilise deux satellites GSO, N-STAR a et b, lancés respectivement en août 1995 et février 1996. Le système N-STAR fournit depuis mars 1996 un service téléphonique et un service de transmission de télécopie et de données (4,8 kbit/s) à commutation de circuits (service de base) à des usagers se trouvant à l'extérieur des zones de services des réseaux de Terre [1]. A ces services s'est ajouté, en mars 2000, un service de transmission de données à commutation par paquets (service paquets) [2], [3]. Ce nouveau service paquets est un service asymétrique dont le débit de données maximum est de 64 kbit/s sur la liaison descendante. La Fig. 24 représente la structure du système N-STAR.

FIGURE 24  
Structure du système N-STAR



## 5.4.2 Architecture et caractéristiques techniques du système

### 5.4.2.1 Principales caractéristiques du système

Le Tableau 23 donne les principales caractéristiques du système.

TABLEAU 23

#### Principales caractéristiques du système

Caractéristique	Service de base	Service paquets
Bande de fréquences	Liaison de service: bande 2,6/2,5 GHz (2 660-2 690/2 505-2 535 MHz) Liaison de connexion: bande 6/4 GHz (6 345-6 425/4 120-4 200 MHz)	
Intervalle de fréquence des canaux	12,5 kHz	Liaison retour: 12,5 kHz Liaison aller: 150 kHz
Rayon des faisceaux	600 km	
Système d'accès	AMRF/SCPC	Liaison retour: AMRF Liaison aller: MRT
Débit binaire de transmission	14 kbit/s	Liaison retour: 14 kbit/s Liaison aller: 156 kbit/s
Modulation/démodulation	MDP-4 avec déphasage $\pi/4$ /détection cohérente	
Méthode de correction d'erreur	Codage convolutionnel avec décodage Viterbi	
Codage de la parole	PSI-CELP 5,6 kbit/s	
Débit binaire de la transmission de données	4,8 kbit/s	Liaison retour: 5,6 kbit/s Liaison aller: jusqu'à 64 kbit/s

PSI-CELP: Prédiction linéaire à excitation par code d'innovation tonale synchrone (*Pitch synchronous innovation-code excited linear prediction*).

### 5.4.2.2 Satellite N-STAR

Le Tableau 24 donne les principales caractéristiques du satellite N-STAR.

TABLEAU 24  
Principales caractéristiques du satellite N-STAR

Caractéristique	Spécification	Observations
Position orbitale	N-STAR a: 132° de longitude E N-STAR b: 136° de longitude E	
Date de lancement	N-STAR a: 29 août 1995 N-STAR b: 5 février	
Commande d'orientation	Commande triaxiale	
Durée de vie	Supérieure à 10 ans	
Mise initiale en orbite	Environ 2 tonnes	
Antenne des satellites	Trois réflecteurs d'antenne: – deux réflecteurs déployables de 2,6 × 3,0 m – un réflecteur de 2,1 m	Pour SFS
Caractéristiques du répéteur	Ka (30/20 GHz) multifonction	
	Ka (30/20 GHz) faisceau unique	
	Ku (14/12 GHz)	
	C (6/4 GHz)	Liaison de connexion, SMS
	S (2,6/2,5 GHz)	Liaison de service, SMS

### 5.4.2.3 Terminaux mobiles

Le système N-STAR est intégré avec des systèmes cellulaires de Terre, les abonnés peuvent donc accéder aux deux types de système en utilisant un terminal bimode. Cette configuration sera décrite en détail plus loin.

Trois modèles de terminaux ont été mis au point pour le service de base: portable, maritime et pour montage sur véhicule automobile. Ce dernier modèle est utilisé comme terminal bimode, tandis que le modèle maritime est destiné exclusivement au système à satellites. Les terminaux portables existent en deux versions, une version bimode et une version pour utilisation exclusive dans le système à satellites. Le système N-STAR est intégré avec le système cellulaire de Terre; dans ce cas, on utilise le terminal bimode. Le Tableau 25 donne les principales spécifications des terminaux mobiles. Le terminal pour le service paquets est presque identique au terminal maritime du service de base. Les Fig. 25 et 26 sont des photographies du terminal du service paquets et du terminal portable, respectivement.

TABLEAU 25

**Principales spécifications des terminaux mobiles**

	<b>Service paquets</b>	<b>Maritime</b>	<b>Véhicule</b>	<b>Portable</b>
Bande de fréquences	Emission: 2 660-2 690 MHz Réception: 2 505-2 535 MHz			
Puissance d'émission maximum	2,0 W			
Gain d'antenne	10,0 dBi			
Dimensions des terminaux	Diamètre de l'unité antenne: 30 cm  Hauteur: 15 cm  Poids: 5 kg  Dimensions de l'unité terminal: 15,5 cm × 25 cm × 8,8 cm  Poids: 4 kg	Diamètre de l'unité antenne: 30 cm  Hauteur: 15 cm  Poids: 5 kg  Dimensions de l'unité terminal: 15,5 cm × 25 cm × 7 cm  Poids: 3 kg	Diamètre de l'unité antenne: 30 cm × 34 cm  Hauteur: 5,5 cm  Poids: 3 kg  Dimensions de l'unité terminal: 15,5 cm × 25 cm × 7 cm  Poids: 3 kg	Unité antenne + terminal: Dimensions: 26 cm × 18,5 cm × 6 cm  Poids: 2,7 kg (y compris poids de la batterie)

FIGURE 25

**Terminal pour le service paquets**



FIGURE 26

**Terminal portable (bimode)**



MSS-25

### **5.4.3 Services et applications**

Le système N-STAR fournit deux types de services: un service à commutation de circuits (service de base) et un service à commutation par paquets (service paquets). Pour obtenir une qualité élevée dans les canaux, on a adopté pour les deux services une méthode efficace de correction directe d'erreur (codage de convolution à débit 1/2 avec décodage Viterbi). Dans ces conditions, même si le terminal mobile se trouve en bordure de la zone de service, le TEB sur les données reçues par ce terminal est inférieur à  $1 \times 10^{-4}$ .

Dans le service de base, le débit de transmission de l'information pour la téléphonie et pour la télécopie/données est respectivement de 5,6 kbit/s et 4,8 kbit/s. Pour les services télécopie/données, on a adopté une technique ARQ de pointe afin d'obtenir une transmission exempte d'erreur.

Dans le service paquets, on met en oeuvre un procédé asymétrique spécifique pour la transmission des données. Cela permet d'obtenir un débit de transmission maximum de 64 kbit/s et 5,6 kbit/s respectivement pour la liaison aller et pour la liaison retour. Le procédé sera décrit en détail dans la section suivante.

Le système N-STAR est utilisé principalement en mer et dans les régions montagneuses qui ne sont pas couvertes par les services cellulaires de Terre. Dans ces conditions, le système se révèle irremplaçable dans diverses opérations de surveillance et de contrôle, et il joue un rôle important dans la recherche scientifique et la gestion de la sécurité. Par exemple, sur le mont Hossho – volcan en activité situé sur l'île japonaise de Kyushu – les images fournies par une caméra installée près du cratère sont transmises automatiquement à un centre de recherche volcanologique, à une trentaine de kilomètres de distance, par l'intermédiaire d'un terminal du système N-STAR. Ce système, qui permet par exemple d'observer le volume et la couleur des fumées volcaniques grâce à des images fixes, fournit un moyen utile de rassemblement et d'analyse de données de recherche précieuses.

### **5.4.4 Caractéristiques spécifiques du système**

#### **5.4.4.1 Intégration du système**

Le système N-STAR est intégré avec des systèmes cellulaires de Terre. Pour pouvoir bénéficier des avantages de ce système intégré, les abonnés utilisent des terminaux du type bimode. Un tel terminal peut recevoir, simultanément ou successivement, des signaux provenant des stations de base qui communiquent avec le satellite et des stations de base du système cellulaire de Terre. A l'intérieur d'une zone de service cellulaire, le terminal est relié de préférence au système de Terre. En dehors de cette zone, le terminal bascule automatiquement sur le système à satellites. Cette sélection se fait en fonction des caractéristiques des signaux reçus. Les abonnés n'ont pas besoin de savoir quel système ils utilisent. L'intégration dont il est question a pour but de réaliser un système de télécommunications mobiles plus économique.

#### **5.4.4.2 Fiabilité du système**

Pour obtenir une fiabilité élevée, on a adopté la configuration suivante pour le système N-STAR: deux satellites; deux SBS qui reçoivent et émettent les signaux radioélectriques en provenance et à destination des satellites; et deux SMCC chargés du traitement des appels et de l'interfaçage avec le RTPC/RNIS. Chaque SBS joue le rôle de station de soutien pour l'autre.

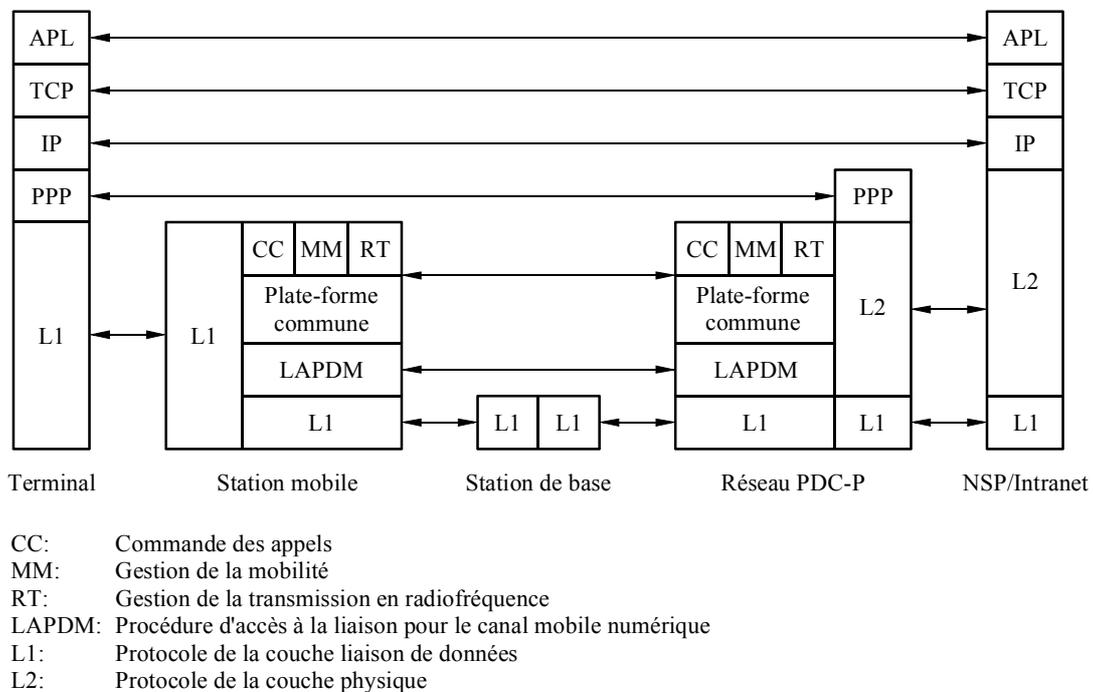
#### **5.4.4.3 Service paquets asymétrique**

Le système N-STAR paquets a été développé pour fournir les services Internet/Intranet aux usagers qui se trouvent en dehors de la zone de service du réseau cellulaire numérique personnel fonctionnant en mode paquets (PDC-P).

Dans nombre de services Internet/Intranet, il y a prédominance de la charge de trafic présente sur la liaison aller, et le débit des données sur la liaison retour n'influence guère le débit global. Si l'on augmente le débit des données sur la liaison retour, on est obligé d'accroître la puissance d'émission des stations mobiles, et d'utiliser par conséquent des terminaux volumineux et lourds. En revanche, il est relativement facile, dans un système de télécommunication par satellite, d'accroître le débit des données sur la liaison aller, en incluant la largeur de bande et la puissance voulues dans la capacité du satellite. Cela étant, on a réalisé un système asymétrique de transmission par paquets dans lequel le débit de données est élevé sur les liaisons aller (64 kbit/s) et faible sur les liaisons retour (5,6 kbit/s). En adoptant sur la liaison retour le même débit de données que dans le système existant, on obtient pour les stations mobiles des dimensions et une consommation d'énergie qui sont presque les mêmes que pour le système existant.

La Fig. 25 est une photographie du terminal utilisé dans le service paquets et la Fig. 27 représente les configurations de protocole de ce service.

FIGURE 27  
Configurations de protocole



MSS-27

#### 5.4.5 Site web du prestataire de service

<http://www.nttdocomo.com>.

#### 5.4.6 Références bibliographiques

- [1] FURUKAWA, K., NISHI, Y., KONDO, H., UEDA, T. et YASUDA, Y. [1996] N-STAR mobile communication system. Proc. of GLOBECOM'96, p. 390-395.
- [2] YAMASHITA, T., INOUE, M. et NISHI, Y. [Mai 2001] Satellite mobile packet system characteristics and performance evaluation. Proc. of VTC Spring Conference, Rhodes, Grèce.
- [3] INOUE, M., YAMASHITA, T. et ONO, T. [Octobre 2001] N-STAR satellite mobile packet communications system. Présenté à la FAI 2001, Toulouse, France.

## 5.5 Le système mobile à satellites Globalstar

### Télécommunications par satellite – La prochaine génération de services hertziens

**Globalstar est le fournisseur de la prochaine génération de services de télécommunications mobiles par satellite pour les communications vocales et de données à destination de zones géographiques reculées. Le système s'adresse à des clients opérant à l'échelle mondiale qui sont à la recherche d'une solution simple et rentable pour satisfaire leurs besoins en matière de communications. Le service a démarré en janvier 2000 et s'étend systématiquement au monde entier, région par région.**

Notre clientèle se compose essentiellement d'utilisateurs de services cellulaires qui se déplacent hors des zones de couverture; de personnes travaillant dans des zones reculées dépourvues de systèmes de Terre; de résidents dans des zones mal desservies, qui peuvent utiliser les postes téléphoniques fixes de Globalstar pour leurs communications de téléphonie de base; et de personnes effectuant des voyages internationaux et qui doivent rester constamment en contact avec leur base.

Nos «marchés verticaux» sont les suivants: services maritimes (trafic maritime, navigation de plaisance), transports (camionnage, chemins de fer); aviation (commerciale, aviation générale); ressources naturelles (pétrole et gaz, bois de construction/exploitation du bois); et agences gouvernementales (nationales, locales).

#### 5.5.1 Description du système Globalstar

##### 5.5.1.1 Éléments constitutifs du système

**Le système Globalstar se compose de trois éléments principaux: la constellation de satellites, les passerelles, les appareils téléphoniques et les modems de données. Les liaisons de radio-communication sont établies par l'intermédiaire du satellite, entre l'utilisateur et la passerelle, à partir de laquelle s'opèrent les connexions vers les réseaux de Terre existants. Ces liaisons sont établies dans certaines parties des bandes de fréquences attribuées au SFS et au SMS.**

#### Plans de fréquences et de polarisations

Globalstar utilise les attributions de fréquences faites au SFS dans la bande C pour ses liaisons de connexion établies entre les satellites et les passerelles. Les antennes de satellite rayonnant sur ces liaisons de connexion donnent des faisceaux qui fournissent une couverture mondiale. Les passerelles sont équipées de trois ou quatre antennes paraboliques qui sont programmées pour poursuivre les satellites. La polarisation circulaire dextrogyre (RHCP, *right hand circular polarization*) et la polarisation circulaire lévogyre (LHCP, *left hand circular polarization*) sont utilisées sur les liaisons de connexion. Sur les liaisons de connexion montantes et descendantes, les fréquences sont réparties entre les seize faisceaux, respectivement pour les fréquences des liaisons descendantes et montantes du SMS. Les bandes de fréquences réservées aux liaisons de connexion sont les suivantes:

- Liaison de connexion montante, de la passerelle vers le satellite: 5 091-5 250 MHz.
- Liaison de connexion descendante, du satellite vers la passerelle: 6 875-7 055 MHz.

Les antennes de satellite utilisées pour la bande S et la bande L sont du type à faisceaux multiples, conçues pour produire les seize faisceaux. Dans les faisceaux des liaisons de service, la polarisation est LHCP, avec réutilisation intégrale des fréquences. Pour la plupart des pays, les bandes de fréquences réservées aux liaisons de service sont les suivantes:

- Liaison de service montante, depuis le téléphone de l'utilisateur jusqu'au satellite: 1 610-1 621,35 MHz.
- Liaison de service descendante, depuis le satellite jusqu'au téléphone de l'utilisateur: 2 483,5-2 500 MHz.

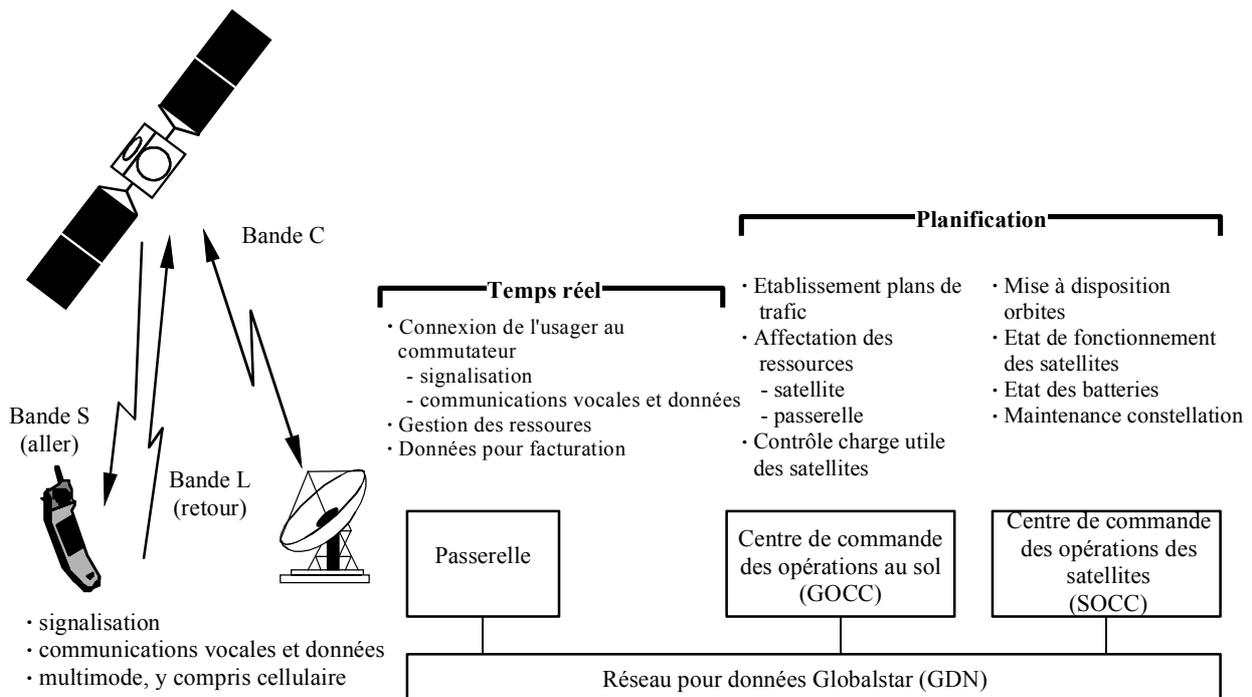
### 5.5.1.2 Fonctionnement du système

Le système comporte deux centres de commande Globalstar (GCC), l'un à San Jose et l'autre à El Dorado Hills, près de Sacramento en Californie. Chacun de ces centres peut assurer le fonctionnement du réseau au sol et gérer la constellation de satellites; ils sont opérationnels 24 h sur 24. Les GCC comprennent un centre de commande des opérations au sol (GOCC) et un centre de commande des opérations des satellites (SOCC).

La Fig. 28 représente le centre de commande intégré. Les passerelles indiquées dans cette Figure sont en interface avec les centres GOCC et SOCC. Le GOCC est aussi relié au département de facturation de Globalstar (GBO), non représenté dans la figure. Le GOCC recueille auprès de chaque passerelle des états détaillés des communications et les envoie au GBO pour l'établissement des factures mensuelles des prestataires de service.

FIGURE 28

Support du secteur terrien pour les communications



MSS-28

Le réseau mondial pour données Globalstar (GDN) relie le centre GOCC à toutes les passerelles de trafic. Il relie également le centre SOCC aux six passerelles dotées d'équipements de télémétrie et de commande (T&C) des satellites.

Les satellites Globalstar acheminent le trafic des abonnés entre, d'une part, les téléphones et modems de données Globalstar et, d'autre part, les passerelles Globalstar. De leur côté, les passerelles sont en interface avec les réseaux de Terre, téléphoniques et cellulaires, par l'intermédiaire de leur centre de commutation mobile (MSC) dans le pays hôte.

### 5.5.1.3 La constellation de satellites

Les orbites des satellites sont optimisées de manière à donner une disponibilité maximale des liaisons entre les latitudes 70° S et 70° N. Le service peut être fourni à des latitudes plus élevées avec une disponibilité moindre. Le secteur spatial Globalstar comprend 48 satellites opérationnels placés sur des LEO (1 414 km) et quatre satellites en réserve sur des orbites plus basses. Le recours à des orbites basses permet l'emploi de téléphones à faible puissance semblables à des appareils cellulaires. Les satellites sont répartis entre 8 plans orbitaux, à raison de 6 satellites (équidistants) par plan orbital. Ces satellites accomplissent une révolution orbitale complète en 114 min. En un point quelconque de la surface terrestre, les téléphones et les modems des utilisateurs sont éclairés par un des 16 faisceaux de l'antenne du satellite au moment de son passage. En général, un abonné est en communication avec plus d'un satellite à un instant quelconque. La Fig. 29 représente la constellation des satellites et la Fig. 30 représente un satellite.

FIGURE 29  
La constellation de satellites

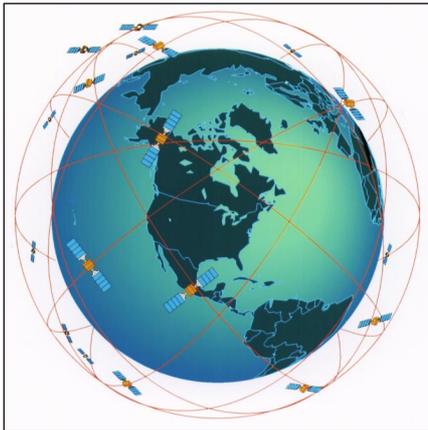


FIGURE 30  
Satellites Globalstar



MSS-29

### 5.5.1.4 Passerelles

Les passerelles font partie intégrante du secteur terrien de Globalstar, qui comprend également les centres de commande des opérations au sol, les centres de commande des opérations des satellites et le réseau pour données Globalstar.

**Chaque passerelle, qui est la propriété du prestataire de service pour le pays où est implantée la passerelle et qui est gérée par ce prestataire de service, effectue les opérations suivantes: réception des signaux en provenance des satellites en orbite, traitement des appels et transmission des appels au réseau de Terre approprié. Une passerelle peut desservir plusieurs pays. Les passerelles comprennent trois ou quatre antennes, ou équipement de traitement en AMRC, un centre de commutation mobile et un système de gestion des équipements. Elles permettent une intégration sans faille avec les réseaux régionaux de téléphonie et de radiocommunication. Les passerelles utilisent une interface normalisée T1/E1 pour la connexion avec les systèmes du RTPC et des réseaux terrestres publics mobiles (RTPM).**

### 5.5.1.5 Centre de commande des opérations au sol

Le centre de commande des opérations au sol (GOCC) se compose essentiellement de postes de travail informatique et de grands écrans. Il a pour fonction de planifier et de gérer les moyens de communication de la constellation de satellites. Le GOCC est coordonné avec le SOCC, qui surveille l'état de fonctionnement des autres sous-systèmes des satellites.

Une des tâches journalières du GOCC est de générer, à l'intention des équipement des satellites, les instructions qui règlent les caractéristiques de chaque répéteur de satellite. Le SOCC transmet ensuite ces commandes à chaque satellite pour le compte du GOCC. Celui-ci établit également, et envoie quotidiennement à chaque passerelle, les programmes de poursuite pour chaque antenne et les données orbitales, afin que les antennes puissent être pointées comme il convient sur les satellites. Par ailleurs, le GOCC gère le volume de trafic qui peut être acheminé à chaque passage de satellite, afin d'équilibrer l'utilisation des ressources satellites, par exemple la puissance d'émission. Outre ses fonctions de planification et de gestion des ressources, le GOCC est chargé de repérer les interruptions de fonctionnement qui peuvent influencer sur le service dans les passerelles, et de diffuser cette information à d'autres passerelles afin de faciliter l'analyse des incidents de l'itinérance. Enfin, le GOCC a pour mission de surveiller et d'assurer la capacité opérationnelle du réseau pour données de Globalstar.

### 5.5.1.6 Centre de commande des opératrices des satellites

**Réception des données de télémétrie:** Les satellites Globalstar émettent en permanence des données de télémétrie (position orbitale et mesures de la santé et de l'état de fonctionnement actuels de l'engin spatial). Les T&C de certaines passerelles sont conçues pour fonctionner automatiquement, avec commande à distance à partir du centre de commande des opérations des satellites (SOCC) en ligne. Les données de télémétrie que les satellites envoient à l'équipement T&C sont ensuite acheminées jusqu'au SOCC par le réseau pour données Globalstar. Grâce à une phase de préplanification, chaque satellite bénéficie nominale d'un contact de télémétrie une fois par révolution orbitale.

**Transmission des commandes:** Par l'intermédiaire du réseau pour données Globalstar, les commandes sont envoyées du SOCC à certaines unités T&C, puis retransmises immédiatement à un satellite. Suivant la nature de la commande, celle-ci peut être exécutée sur-le-champ par le satellite, ou être mise en mémoire pour exécution ultérieure. Le centre SOCC a la charge d'adresser le message de commande au T&C voulu, à l'instant voulu, pour transmission au satellite approprié.

**Fonctionnement du centre SOCC:** Les données de télémétrie sont acheminées jusqu'aux postes de travail utilisateurs chargés de surveiller ou commander des satellites déterminés. A tout instant, tous les satellites en contact sont surveillés automatiquement par le logiciel; certains satellites seulement sont contrôlés directement par un membre de l'équipement des opérations de vol. Un poste de travail peut surveiller jusqu'à 6 satellites. Un contrôleur des opérations peut demander à contrôler jusqu'à 6 satellites, ou peut être amené à fixer les critères selon lesquels le système pourra déterminer automatiquement les satellites à contrôler. Par exemple, le contrôleur pourrait demander à voir tous les satellites pour lesquels on reçoit, à tel ou tel instant, des données en temps réel et au sujet desquels le logiciel qui surveille le sous-système d'alimentation en énergie détecte une anomalie.

## 5.5.2 Produits de téléphonie

### 5.5.2.1 Téléphones mobiles Globalstar

Les téléphones Globalstar fonctionnent en mode cellulaire ou en mode satellite, ce qui permet à l'utilisateur de rester en contact pratiquement en tout point du globe. Les téléphones mobiles Globalstar (Fig. 31) sont fabriqués par les constructeurs suivants:

- QUALCOMM (CDMA-800, AMPS-800, Globalstar modes);
- Ericsson (GSM-900, Globalstar modes); et
- Telit (GSM-900, Globalstar modes).

FIGURE 31  
Téléphones mobiles Globalstar



MSS-31

### 5.5.2.2 Téléphones fixes Globalstar

Les téléphones fixes Globalstar sont une solution novatrice pour une installation rapide et aisée de communications dans des lieux reculés et dans des zones où les services traditionnels ne sont pas rentables. L'antenne Globalstar est montée à l'extérieur, dans un endroit commode, avec une vue bien dégagée du ciel, et reliée à des postes téléphoniques de type courant par l'intermédiaire d'un câble standard. Il existe deux modèles de téléphone fixe:

- le Globalstar EF-200, pour les pays où GSM-900 est la norme de réseau hertzien;
- le QUALCOMM GSP 2800/2900, pour les pays où les réseaux hertziens sont du type AMRC.

### 5.5.2.3 Kit Globalstar pour véhicules automobiles

Ce matériel constitue la solution pour les utilisateurs en déplacement et pour les usagers professionnels (camionnage, industrie pétrolière, services publics). Il permet aux professionnels de maintenir le contact en tout temps, au-delà de la portée des réseaux cellulaires ou de Terre. L'antenne est fixée au véhicule et reliée par câble à une enceinte qui contient l'appareil téléphonique. Le kit permet de converser mains libres, de recevoir et de lancer des appels en toute sécurité tout en conduisant.

### 5.5.3 Matériels Globalstar pour données

Un prestataire de service Globalstar est en mesure de fournir une description à jour des produits disponibles.

#### 5.5.4 Services Globalstar de transmission de données

Globalstar met en place un certain nombre de services hertziens de transmission de données qui se distinguent par une grande fonctionnalité et une grande commodité pour les clients, partout où ceux-ci vivent, travaillent ou voyagent. L'architecture AMRC du système est particulièrement bien adaptée aux communications de données. Elle assure aux usagers des connexions de données sûres et de haute qualité pour toute une série d'applications professionnelles et personnelles – sur terre, en mer ou dans les airs – à des débits comparables à ceux offerts actuellement par les services cellulaires hertziens.

- **Connectivité Internet hertzienne pour PC:** A l'aide d'un câble Globalstar pour transmission de données, d'une utilisation aisée, les usagers peuvent relier rapidement leur ordinateur personnel à un téléphone Globalstar, aussi facilement que s'ils branchaient leur PC à une prise téléphonique murale ordinaire (voir la Fig. 32). L'ordinateur entre ensuite dans l'Internet, ce qui permet à l'utilisateur d'envoyer et de recevoir des courriers électroniques et autres données d'Internet en utilisant un logiciel normal de navigation et de gestion de courrier. Ce service est utile aux voyageurs qui veulent pouvoir accéder aux données pendant leurs déplacements, mais aussi aux usagers résidant en des lieux fixes reculés qui n'ont pas d'autre moyen pour connecter leur PC au web (voir la Fig. 33).

FIGURE 32

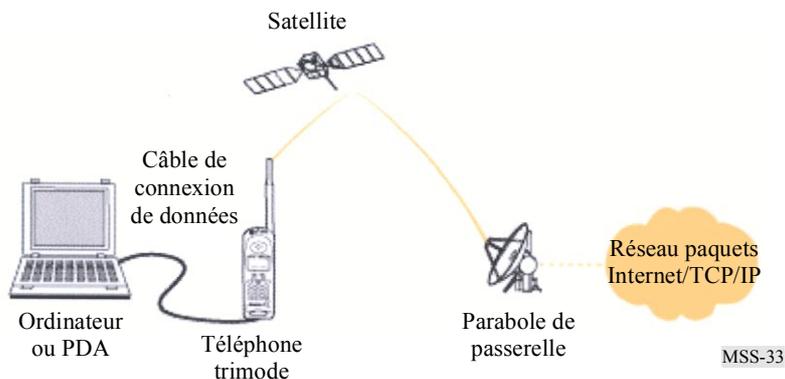
Câble de connexion de données Globalstar



MSS-32

FIGURE 33

Connectivité Internet hertzienne



MSS-33

- **Services de modems de données SCADA (surveillance et acquisition de données):** Des modems de données Globalstar de conception spéciale émettent et reçoivent automatiquement des données en provenance de sites éloignés. Les clients peuvent ainsi surveiller et commander à distance des équipements et des infrastructures. Par exemple, des exploitants d'oléoducs peuvent installer des modems Globalstar en plusieurs points le long d'un oléoduc pour contrôler le débit, la pression et la température; autre exemple, des transporteurs peuvent repérer à intervalles réguliers la position de leurs conteneurs et de leurs véhicules. Il est possible d'émettre et de recevoir de courtes salves de données moyennant une dépense des plus modiques, ce qui donne des systèmes beaucoup plus économiques que la surveillance par des moyens manuels ou d'autres systèmes à satellites.  
Les services de transmission de données Globalstar appliquent les protocoles de commutation de circuits ou par paquets.
- **Transmission de données à commutation de circuits (asynchrone):** Ce service est semblable au service Internet avec commutation, bien connu des utilisateurs pour leur usage personnel. Il établit un circuit spécialisé, essentiellement identique à une connexion téléphonique classique et utilisable pour les fonctions usuelles de l'Internet (par exemple, courrier électronique, navigation dans le web, etc.). Pour accéder à l'Internet, l'utilisateur appelle au cadran un prestataire de service Internet (ISP), comme il le ferait normalement pour une connexion téléphonique ordinaire.
- **Transmission de données à commutation par paquets:** Ce service représente une forme plus performante de transfert de données, semblable à celle utilisée par les DSL et les connexions de modems par câble. Les utilisateurs accèdent aux données Internet de la même manière qu'avec des connexions à commutation de circuits et avec des débits approximativement identiques, mais la commutation par paquets n'exige pas de connexion commutée vers les prestataires de service ISP. Au lieu de cela, le PC est relié directement à l'Internet, par l'intermédiaire du téléphone Globalstar.

La transmission de données avec commutation de circuits est en cours d'installation sur l'ensemble du réseau Globalstar; elle a été mise en oeuvre successivement dans les divers marchés sur l'année 2001, en commençant par le deuxième trimestre. La transmission de données avec commutation par paquets est devenue opérationnelle au début de 2001 aux Etats-Unis d'Amérique, au Canada et dans les Caraïbes; elle a été introduite dans plusieurs autres marchés en 2001 et 2002.

#### **5.5.5 Débits de données**

L'architecture du système de Globalstar permet normalement la transmission à 9,6 kbit/s. Ce débit est similaire à ceux disponibles dans la plupart des réseaux cellulaires, et tout à fait suffisant pour émettre et recevoir l'information de type texte (courrier électronique, données financières, etc.). Par ailleurs, l'architecture AMDC de Globalstar est évolutive, permettant d'augmenter les débits en ayant recours à plusieurs circuits. On a déjà obtenu des débits de 200 kbit/s avec des systèmes prototypes.

Globalstar étudie également des méthodes qui permettraient d'accroître les débits de transfert des données même sur des circuits individuels. Ces études portent sur plusieurs options, parmi lesquelles l'adoption de la technologie HDR (*high data rate*: débit binaire élevé) de Qualcomm, qui permet de tripler ou de quadrupler les débits utilisés actuellement.

#### **5.5.6 L'avantage Globalstar**

La conception intelligente du système Globalstar repose sur la réalisation d'une couverture avec chevauchement fournie par les satellites: en un point quelconque, il peut y avoir jusqu'à quatre satellites disponibles pour acheminer un appel. La conséquence de cette «diversité de trajet» est un taux d'aboutissement accru des appels des clients et une forte diminution des abandons d'appel.

Avec son réseau mondial de partenaires et de prestataires de services, Globalstar est en mesure de mettre à profit les potentialités existantes en matière d'infrastructures, de connaissances, de technologie et de relations. L'emploi de la technique AMRC (accès multiple par répartition en code) donne un niveau supérieur de qualité vocale et de sécurité. La constellation de 48 satellites sur LEO élimine les retards perceptibles de la transmission vocale.

Des informations complémentaires sont disponibles sur le site <http://www.globalstar.com/>.

## **5.6 Inmarsat**

### **5.6.1 Vue d'ensemble**

Inmarsat a été le premier opérateur de télécommunications mobiles internationales par satellite dans le monde. Il a été fondé en 1979 sous la forme d'une organisation intergouvernementale à vocation maritime qui avait pour mission de fournir des communications par satellite pour la gestion des navires, afin de faire face aux situations de détresse et d'assurer la sécurité. Inmarsat est aujourd'hui une compagnie à responsabilité limitée relevant du droit britannique qui fournit des services de téléphonie, télécopie et communications de données à des utilisateurs maritimes, mobiles terrestres et aéronautiques. En août 2001, date d'élaboration du présent ouvrage, le système Inmarsat comptait plus de 210 000 terminaux d'utilisateur.

### **5.6.2 Service et applications**

Inmarsat offre un vaste éventail de services différents qui répondent aux besoins des utilisateurs ressortissants des services mobiles maritime, aéronautique et terrestre:

#### **Inmarsat-A**

Inmarsat-A, première en date des services Inmarsat, applique la technologie analogique. Il fournit des services analogiques de téléphonie directe, télécopie Groupe 3, télex et transmission de données, à des débits allant de 9,6 kbit/s à 64 kbit/s. A cela s'ajoutent des possibilités de communications en cas de détresse.

Il existe des terminaux utilisables à bord de navires et des terminaux transportables pour l'usage terrestre. Ces terminaux fonctionnent dans des faisceaux de rayonnement de satellite à couverture mondiale. Les terminaux de navire peuvent être utilisés dans le cadre du SMDSM.

#### **Inmarsat-B**

Inmarsat-B offre des services similaires à ceux d'Inmarsat-A, mais ce système applique la technologie numérique, plus économique en largeur de bande. Les services offerts sont la téléphonie de haute qualité à sélection directe, la télécopie Groupe 3, le télex et la transmission de données à des débits allant de 9,6 kbit/s à 64 kbit/s pour des connexions à haut débit pouvant relier l'utilisateur au RNIS. Comme dans Inmarsat-A, les terminaux fonctionnent dans des faisceaux à couverture mondiale et il en existe des versions pour l'usage maritime et terrestre. Les terminaux de navire peuvent être utilisés dans le cadre du SMDSM.

#### **Inmarsat-C**

Service de transmission bilatérale de données par paquets, avec terminaux légers de prix modique, suffisamment petits pour pouvoir être portés à la main, ou pouvant être installés dans tout navire, véhicule ou aéronef. Ces appareils, homologués pour utilisation dans le SMDSM, représentent la solution idéale pour diffuser et collecter des informations intéressantes des parcs de véhicules ou des flottes de navires de commerce.

#### **Inmarsat-D+**

Service de communications bilatérales de données utilisant des appareils de la taille d'un lecteur de CD. Il est complété par un équipement du GPS pour les opérations de poursuite, de localisation, de transmission de messages de données courts, de SCADA. Les terminaux peuvent mémoriser et afficher jusqu'à 40 messages composés chacun d'un maximum de 128 caractères. Ils peuvent recevoir des messages sonores, numériques ou alphanumériques.

## **Inmarsat-E**

Service maritime mondial d'alerte en cas de détresse. Une RLS mesurant entre 22 cm et 70 cm de haut et pesant environ 1,2 kg émet un message de localisation d'un navire et un message automatique à des centres de coordination des secours en mer, en général dans un délai maximum de deux minutes après avoir touché l'eau. Une alerte de détresse est transmise à un centre de coordination, qui prend les mesures nécessaires. Les terminaux de navire peuvent être utilisés dans le cadre du SMDSM.

## **Inmarsat Aero**

On compte trois applications principales des services aéronautiques Inmarsat:

- Services des passagers – Les services Inmarsat permettent aux passagers d'avoir des conversations téléphoniques et d'envoyer des télécopies en vol. Il existe aussi des services de données, en mode paquets jusqu'à 10,5 kbit/s et en mode circuits jusqu'à 4,8 kbit/s.
- Contrôle de la circulation aérienne – Les télécommunications aéronautiques par satellite dans le système Inmarsat Aero jouent un rôle important dans la mise en œuvre du concept de l'OACI appelé communications CNS/ATM pour le contrôle de la circulation aérienne dans l'espace aérien océanique et à grande distance. Le système Inmarsat établira des communications directes de téléphonie et de données entre les pilotes et les contrôleurs, ainsi que l'ADS. L'ADS est la transmission d'information de position et d'intention, information extraite des systèmes de navigation de l'aéronef. La liaison de données d'Inmarsat Aero sert à des communications de routine entre les pilotes et les contrôleurs, par exemple pour les demandes d'autorisations de vol et d'émissions consultatives. Les communications vocales sont utilisées dans les cas autres que la routine et dans les cas d'urgence.
- Communications des compagnies aériennes pour l'exploitation et l'administration – L'utilisation d'une liaison de données par satellite pour intégrer les aéronefs dans les systèmes d'information d'une compagnie aérienne permet d'accroître considérablement l'efficacité opérationnelle et administrative de la compagnie. On peut citer les applications suivantes: extension du rayon d'action des aéronefs bimoteurs; réparations et dépannages techniques en vol; amélioration du traitement des anomalies provoquées par les conditions météorologiques et des retards dus à d'autres causes.

Inmarsat offre les services suivants à l'appui de ces applications:

- Aero-L – communications de données à faible débit (600 bit/s) en temps réel, principalement pour le contrôle de la circulation aérienne et à des fins d'exploitation et d'administration.
- Aero-I – permet à des aéronefs volant dans le volume de couverture d'un faisceau ponctuel de recevoir des émissions de téléphonie multicanal, de télécopie et de données en mode circuits, par l'intermédiaire de terminaux plus petits et moins chers. Les services de transmission de données en paquets sont disponibles pratiquement dans le monde entier à l'intérieur des faisceaux à couverture mondiale.
- Aero-H et H+ – fournit des débits allant jusqu'à 10,5 kbit/s pour des communications de téléphonie multicanal, de télécopie et de données, partout à l'intérieur des faisceaux à couverture mondiale, pour les passagers et pour les services d'exploitation, d'administration et de sécurité.
- Aero-C – la version aéronautique du système Inmarsat-C (transmission de données à faible débit) permet l'application de la technique enregistrement et retransmission à l'émission et à la réception, par les aéronefs, de textes de messages de données – à l'exclusion des communications concernant la sécurité des vols – cela presque partout dans le monde.
- Mini-M Aero – assure un service de téléphonie, télécopie ou données à un seul canal à l'usage des petits aéronefs de société et des utilisateurs de l'aviation générale.

## **Inmarsat Mini-M**

Inmarsat Mini-M est actuellement le service Inmarsat qui a le plus de succès. C'est un service de téléphonie, télécopie et transmission de données à 2,4 kbit/s à partir d'un petit appareil téléphonique d'un bon rapport coût-performance qui ne pèse que 2 kg. Le service est fourni dans des faisceaux ponctuels de satellite. Au même titre que les petits appareils portables, les terminaux peuvent aussi être installés dans des véhicules, des navires côtiers et dans des équipements de téléphonie rurale.

## **Réseau GAN**

Le réseau GAN permet des transmissions de téléphonie et la transmission hertzienne de données à haut débit (64 kbit/s) à l'aide d'un petit terminal appelé MSU (*mobile satcom unit*), de la taille d'un ordinateur de poche. Ce réseau offre le choix entre un service à commutation de circuits compatible avec le RNIS et un service de transmission de données en paquets. Le service à commutation de circuits fournit une liaison constante à 64 kbit/s qui est normalement utilisée pour le transfert de grands fichiers de données, la téléphonie de qualité radiodiffusion ou la visioconférence. Le service mobile de transmission de données en paquets permet des opérations compatibles Internet telles que l'accès à des réseaux LAN distants, le courrier électronique et le commerce électronique. Les usagers sont taxés au volume de données écoulé et non à la durée d'occupation de la ligne. Signalons aussi la possibilité d'utiliser un terminal aéronautique, le Swift64.

## **Réseau mondial à large bande (B-GAN)**

Avec la mise en service des satellites Inmarsat-4 en 2004, la plupart des voies de circulation terrestres et les grandes routes maritimes et aéronautiques seront couvertes par de petits faisceaux ponctuels. Les terminaux, appelés PMC (*personal multimedia communications terminals*), communiqueront avec les antennes à gain élevé des satellites, qui permettent l'emploi de terminaux plus petits et de débits binaires plus élevés. On pourra transmettre à des débits allant jusqu'à 432 kbit/s.

## **Navigation**

Les satellites Inmarsat-3 transportent aussi des charges utiles conçues pour améliorer la précision, la disponibilité et l'intégrité des systèmes GPS et GLONASS. Ces équipements émettent vers l'utilisateur sur la même fréquence que le GPS. Grâce aux données fournies aux utilisateurs par l'intermédiaire de ces équipements, la navigation par satellite est capable de satisfaire aux strictes exigences de fiabilité, de disponibilité et d'intégrité fixées par le ATC et les autorités maritimes. Les utilisateurs terrestres peuvent aussi bénéficier des améliorations apportées à la précision du repérage.

Les répéteurs de navigation Inmarsat-3 font partie intégrante des systèmes WAAS et EGNOS qui améliorent la disponibilité, l'intégrité et la précision des signaux de navigation primaires GPS et GLONASS en Amérique du Nord et en Europe.

### **5.6.3 Architecture du système**

L'architecture du système Inmarsat repose sur un groupe de satellites OSG. Les liaisons de service fonctionnent dans la bande L (1 525-1 559 MHz appariée à la bande 1 626,5-1 660,5 MHz). Les liaisons de connexion et les centres TT&C fonctionnent dans la bande C (autour de 3,5 GHz et de 6,4 GHz).

Le trafic à destination et en provenance des terminaux des utilisateurs est pris en charge par des stations terriennes terrestres (STT) qui effectuent les connexions, dans les deux sens, avec les réseaux de Terre. Les SCR remplissent les fonctions relatives à l'établissement, à la surveillance et à l'aboutissement du trafic qui passe par chaque satellite. Ces stations sont soumises à une commande centrale effectuée par Inmarsat et n'écoulent pas le trafic des clients. Généralement installés au même emplacement qu'une station STT, elles utilisent le même équipement radiofréquence et le même système d'antenne que cette station. Les satellites sont commandés à partir d'un SCC situé à Londres, qui communique avec les engins spatiaux par l'intermédiaire de quatre stations TT&C situées respectivement en Italie, en Chine, dans l'ouest du Canada et dans l'est du Canada. Une station d'appui est installée en Norvège.

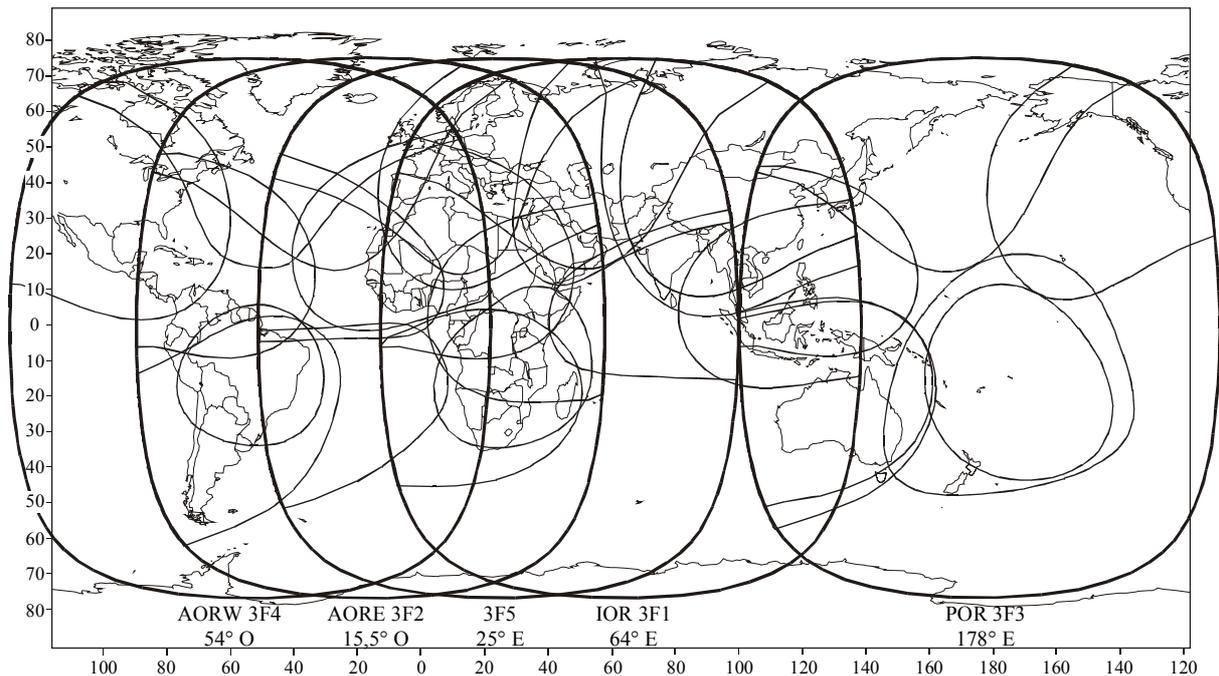
### 5.6.3.1 La constellation de satellites

Le système Inmarsat à satellites OSG se répartit actuellement entre quatre régions océaniques. Chacune de ces régions est desservie par un des satellites Inmarsat de la troisième série, les satellites Inmarsat-3. La Fig. 34 représente l'empreinte des faisceaux des quatre premiers satellites Inmarsat-3.

Région océanique	Position orbitale
Pacifique	178° E
Ouest Atlantique	54° O
Est Atlantique	15,5° O
Océan Indien	64° E

FIGURE 34

Faisceaux à couverture mondiale et faisceaux ponctuels des satellites Inmarsat-3



MSS-34

### 5.6.3.2 Le secteur spatial

Les quatre satellites Inmarsat-3 émettent des faisceaux à couverture mondiale qui assurent collectivement cette couverture, à l'exclusion des pôles. Ils émettent aussi des faisceaux ponctuels assez larges qui, moyennant l'utilisation d'antennes de satellite à gain élevé, permettent l'emploi de petits terminaux d'utilisateur ou la mise en œuvre de services à débits binaires plus élevés. Ces faisceaux ponctuels couvrent des zones continentales, de grandes routes aériennes, des régions côtières et de grandes routes maritimes.

Un cinquième satellite Inmarsat-3 et quatre satellites de la génération précédente Inmarsat-2 sont également en exploitation. Ils sont placés aux quatre positions orbitales clés, pour intervenir instantanément en soutien, ou occupent d'autres positions pour transmettre un trafic supplémentaire.

Inmarsat met au point actuellement ses satellites de la quatrième génération, Inmarsat-4. Deux de ces engins seront lancés dans un premier temps, avec pour destinations les régions de l'Atlantique Ouest et de l'océan Indien. En même temps, un troisième satellite sera maintenu en réserve. Ces satellites fourniront les mêmes services avec faisceaux de couverture mondiale et faisceaux ponctuels que les Inmarsat-3, mais également la couverture de la plupart des itinéraires terrestres et des grandes routes maritimes et aéronautiques par petits faisceaux ponctuels. Ces derniers faisceaux permettront la mise en œuvre de terminaux mobiles à large bande, de dimensions réduites.

Les Tableaux 26 à 28 donnent les caractéristiques techniques de ces systèmes.

TABLEAU 26

**Caractéristiques générales des satellites**

	<b>Inmarsat-3</b>	<b>Inmarsat-2</b>	<b>Inmarsat-4</b>
Période de lancement	1996-1998	1990-1992	2003-2004
Masse au lancement	2 066 kg	1 300 kg	6 000 kg
Puissance	2,8 kW (fin de vie)	1,2 kW (initiale)	12 kW (fin de vie)
p.i.r.e. en bande L	49 dBW	39 dBW	67 dBW (p.i.r.e. totale sur faisceaux ponctuels étroits)
Bus	Lockheed Martin Astro Space Series 4000	Matra/BAe Eurostar	EUROSTAR 3000 d'Astrium
Launchers	Atlas IIA, Proton, Ariane 4	Delta, Ariane 4	Ariane 5 et Atlas 5

TABLEAU 27

**Inmarsat-3: Caractéristiques de fonctionnement du sous-système de communication**

Répéteur	Système linéaire multiporteuse entièrement transistorisé	
Options pour liaisons de service	C-L, L-C, C-C, L-L, et navigation	
Antennes	Antennes d'émission et de réception séparées pour bande L et bande C. Antenne de navigation unique. Réflecteurs déployables à alimentation excentrée (réseau dans le plan focal) pour couverture congruente en émission/réception par faisceau mondial et faisceaux ponctuels en bande L. Couverture mondiale réalisée par cornets en bande C et antennes à alimentation excentrée en bande L	
Rapport $G/T$	6,4 GHz, mondial (C-C, C-L et navigation) 1,6 GHz, mondial (L-C et L-L) 1,6 GHz, ponctuel	-13 dB/K -11,5 dB/K -5,5 dB/K
p.i.r.e.	Bande L	49 dBW, commutable entre faisceau mondial et faisceau ponctuel dans toute proportion de la p.i.r.e. totale
	Bande C	
	Navigation	27,5 dBW

TABLEAU 28

**Inmarsat-4: Caractéristiques de fonctionnement du système de communication**

Répéteur	Répéteur transparent avec système de découpage en canaux fournissant 630 canaux de 200 kHz sur la liaison aller et la liaison retour et avec conformateur de faisceau numérique en bande L permettant de générer différents types de faisceau. La couverture de base en bande L est donnée par environ 200 faisceaux ponctuels étroits (ouverture de faisceau de 1,2° à 3 dB), 19 faisceaux ponctuels larges (4,5° à 3 dB) et un faisceau à couverture mondiale. Tous les amplificateurs de puissance sont à semi-conducteur et sont équipés de linéariseurs	
Options pour les liaisons de service	C-L, L-C, C-C, L-L et navigation	
Antennes	Antennes d'émission et de réception séparées pour bande C et antenne unique pour bande L. Antenne de navigation unique pour bande L, à alimentation centrale, donnant une couverture mondiale. Réflecteurs déployables à alimentation excentrée (réseau dans le plan focal) pour émission/réception en bande L, donnant une couverture par faisceau mondial et faisceaux ponctuels. Couverture mondiale par cornets en bande C. Antenne de navigation unique	
Rapport $G/T$	Bande L = 10 dB/K pour les faisceaux ponctuels étroits = 0 dB/K pour les faisceaux ponctuels larges = -10 dB/K pour le faisceau à couverture mondiale Bande C = -11 dB/K	
p.i.r.e.	Bande L	p.i.r.e. totale = 67 dBW pour les faisceaux ponctuels étroits. Peut être partagée en permanence avec les faisceaux ponctuels larges et le faisceau à couverture mondiale
	Bande C	31 dBW/polarisation
	Navigation	28,5 dBW

**5.6.3.3 Terminaux mobiles**

Le système Inmarsat fonctionne avec de nombreux types de terminaux qui répondent aux besoins des utilisateurs les plus variés dans les services mobiles terrestre, aéronautique ou maritime. Ces terminaux ne sont pas fabriqués par Inmarsat, mais par plusieurs constructeurs différents. Pour chaque type de terminal indiqué dans le Tableau 29, l'utilisateur peut choisir, par conséquent, entre un certain nombre de modèles différents. Tous ces modèles répondent aux besoins fondamentaux et satisfont aux normes pertinentes relatives au matériel, mais il existe des différences de conception et entre certaines caractéristiques des terminaux.

TABLEAU 29

**Types de terminaux Inmarsat**

Terminal	Valeur type du gain d'antenne (dBi)	Transmission vocale	Débit de données	Faisceau opérationnel
Inmarsat-A maritime	22	✓	9,6-64 kbit/s	Mondial
Inmarsat-A transportable	22	✓	9,6-64 kbit/s	Mondial
Inmarsat-M portable	14	✓	4 kbit/s	Mondial/ponctuel
Inmarsat-M maritime	16	✓	4 kbit/s	Mondial/ponctuel
Inmarsat-M véhiculaire	12	✓	4 kbit/s	Mondial/ponctuel
Inmarsat-M fixe	29	✓	4 kbit/s	Mondial/ponctuel
Inmarsat-B transportable	22	✓	64 kbit/s (RNIS)	Mondial/ponctuel
Inmarsat-B maritime	22	✓	64 kbit/s (RNIS)	Mondial/ponctuel
Inmarsat-B fixe	29	✓	64 kbit/s (RNIS)	Mondial/ponctuel

TABLEAU 29 (fin)

Terminal	Valeur type du gain d'antenne (dBi)	Transmission vocale	Débit de données	Faisceau opérationnel
Inmarsat-mini M portable	10-12	✓	2,4 kbit/s	Ponctuel
Inmarsat-mini M véhiculaire	7-10	✓	2,4 kbit/s	Ponctuel
Inmarsat-mini M maritime	7-10	✓	2,4 kbit/s	Ponctuel
Inmarsat-mini M rural	18	✓	2,4 kbit/s	Ponctuel
Inmarsat-mini M aero	6	✓	2,4 kbit/s	Ponctuel
Inmarsat-C maritime	Equidirective	x	600 bit/s	Mondial
Inmarsat-C mobile terrestre	Equidirective	x	600 bit/s	Mondial
Inmarsat-D/D+	Equidirective	x	-	Mondial/ponctuel
Inmarsat-E maritime	Equidirective	x	-	Mondial
Aero-H	12	✓	Télécopie G3 à 4,8 kbit/s Données en paquets à 10,5 kbit/s	Mondial
Aero-H+	12	✓	Télécopie G3 à 2,4 kbit/s Données en paquets à 10,5 kbit/s	Mondial/ponctuel
Aero-I	6	✓	600-4 800 bit/s	Mondial/ponctuel
Aero-L	Equidirective	x	600-1 200 bit/s compatible avec réseaux X.25	Mondial
Aero-C	Equidirective	x	600 bit/s	Mondial
Swift64	12	✓	64 kbit/s mode circuit (RNIS) et données en paquets	Ponctuel
MSU (GAN)	18	✓	64 kbit/s mode circuit (RNIS) et données en paquets	Ponctuel
PMC (B-GAN)	7,5 – 16,5	✓	72-432 kbit/s	Petit faisceau ponctuel de Inmarsat-4

#### 5.6.3.4 La station terrienne passerelle

Il existe deux types de stations terriennes passerelles (STP), décrites ci-après:

Les stations STT sont parfois appelées STC ou stations terriennes au sol (STS) respectivement dans les services mobiles maritime et aéronautique. En 1998, on comptait environ 40 STT réparties sur la surface du globe, avec au moins une de ces stations sur chaque continent. Les stations STT constituent l'interface entre les stations terriennes mobiles (par l'intermédiaire des satellites) et le réseau de Terre. Elles sont souvent – mais pas toujours – la propriété du signataire dans le pays duquel elles sont situées et qui les exploite en toute indépendance. Le signataire est l'entité désignée par le gouvernement du pays considéré pour investir dans Inmarsat et coopérer avec l'organisation. Une station STT peut avoir jusqu'à trois systèmes d'antenne, dans des zones où trois satellites opérationnels sont visibles. Il est fréquent qu'une STT ait conclu des accords bilatéraux avec des STT situées dans d'autres régions, pour réaliser un service mondial dans le sens de transmission fixe vers mobile.

Les SCR coordonnent chaque service par l'intermédiaire de chaque satellite. Ces stations, dont le fonctionnement est centralisé par Inmarsat, n'écoulent pas le trafic des clients. Généralement implantées au même endroit que les STT, elles utilisent l'équipement radiofréquence et le système d'antenne de ces dernières stations. Elles sont mises en œuvre avec redondance des équipements et/ou du site, pour garantir une grande disponibilité du réseau.

#### 5.6.4 Site web

On trouvera des renseignements complémentaires sur le site suivant: <http://www.inmarsat.com/>.

## **5.7 Description du système Thuraya**

### **5.7.1 Introduction**

La Thuraya Satellite Telecommunications Company («Thuraya») exploite un système mobile mondial de communications personnelles par satellite («GMPCS») à un niveau régional. Le premier satellite Thuraya a été lancé le 21 octobre 2000 et l'exploitation commerciale a commencé au deuxième trimestre de 2001.

Thuraya assure des services modernes de téléphonie, transmission de données, télécopie et messagerie par le moyen d'un combiné bimode à grande souplesse de fonctionnement. La compagnie met en œuvre actuellement plusieurs types de terminaux d'utilisateur fixes, semi-fixes, véhiculaires, appareils à prépaiement et terminaux maritimes, capables de fournir tous types d'application et de répondre aux besoins de toutes catégories de clients.

Thuraya a été fondée en avril 1997 aux Emirats arabes unis (UAE) sous la forme d'une société privée par actions dotée de la personnalité civile. Les fondateurs de la Thuraya Satellite Telecommunications Company sont de grands opérateurs nationaux de télécommunications, des investisseurs financiers solides, un opérateur régional de satellites et un constructeur de satellites de premier plan.

### **5.7.2 Vue d'ensemble technique**

#### **5.7.2.1 Secteur spatial**

Le programme Thuraya prévoit deux satellites OSG à stabilisation triaxiale équipés de charges utiles à grande puissance qui donnent plusieurs faisceaux ponctuels. Un de ces satellites est en orbite à 44° E, avec un engin en réserve au sol. Le second satellite sera lancé pour augmenter la capacité et à titre d'appui.

Le satellite émet et reçoit les appels sur une antenne d'environ 12 m d'ouverture, avec 250 à 300 faisceaux ponctuels fournissant des services de téléphonie mobile compatibles avec le système GSM. Un équipement embarqué de traitement des signaux numériques achemine les appels directement d'un appareil portable à un autre, ou vers le réseau de Terre. Le système à satellites fournit jusqu'à 13 750 canaux duplex simultanés qui assurent les liaisons suivantes: liaison de passerelle à mobile, liaison de mobile à passerelle et liaison de mobile à mobile.

Un équipement reprogrammable embarqué confère au système la souplesse nécessaire pour s'adapter à l'évolution du trafic de Thuraya. Il s'agit notamment des modifications de la zone de couverture du satellite après le lancement et de l'optimisation des performances au-dessus de zones géographiques où existent de fortes demandes de trafic. Le processeur produit un grand nombre de faisceaux ponctuels dont on peut varier l'orientation, lorsque cela est nécessaire, même après la mise en orbite du satellite: on peut ainsi passer de grandes agglomérations ou de zones rurales à des navires en mer.

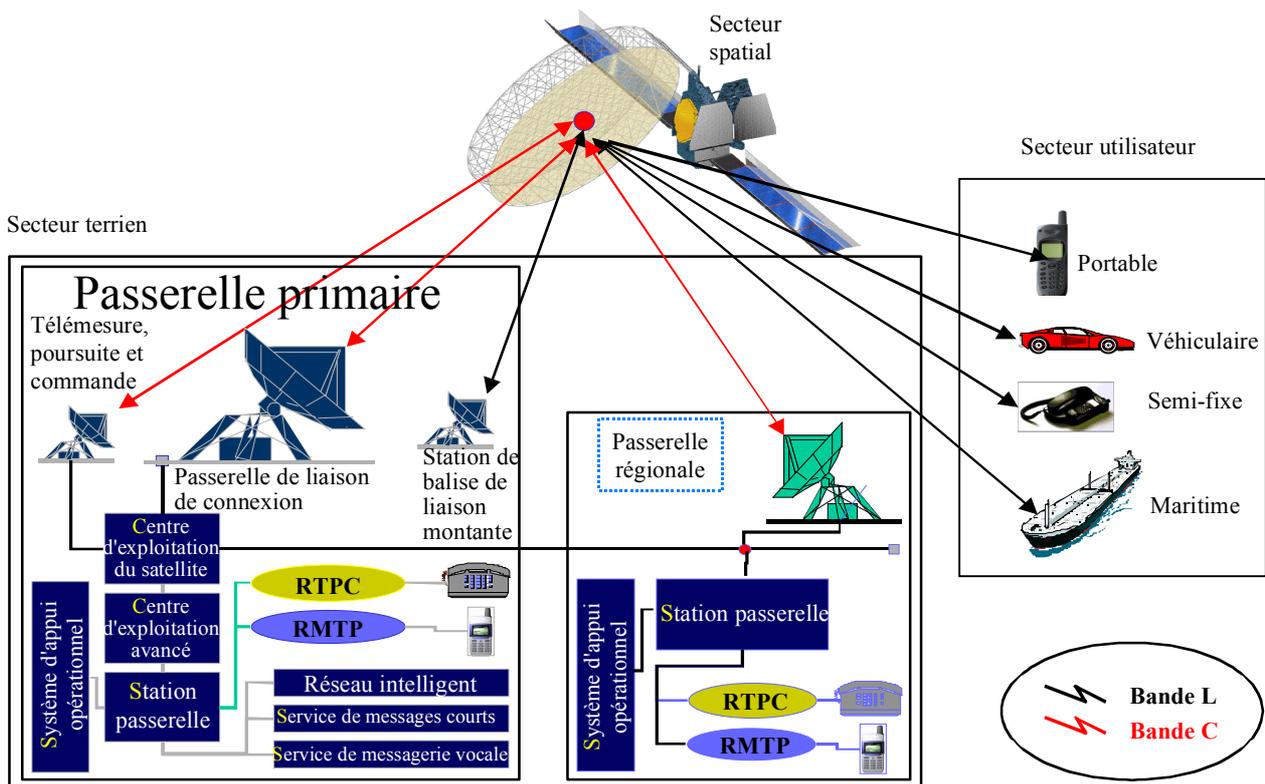
#### **5.7.2.2 Secteur terrien**

Le secteur terrien est constitué par une passerelle primaire installée sur le territoire des Emirats arabes unis, qui commande l'ensemble du réseau Thuraya. Cette passerelle se compose des éléments suivants:

- Le centre d'exploitation avancé assure la gestion centrale des ressources satellite partagées et configure la charge utile du satellite en conséquence.
- Le centre d'exploitation du satellite est chargé du fonctionnement du satellite ainsi que de son maintien en position et en orientation.

- La station passerelle assure l'accès au RTPC pour les appels en provenance ou à destination des utilisateurs mobiles, et l'accès au réseau mobile terrestre public (RMTP) et au RPDC, par l'intermédiaire du RTPC. Il y a aussi possibilité de connexion directe de canaux de signalisation et de circuits au RMTP.
- Le système d'appui opérationnel (OSS: *operational support system*) fournit la fonctionnalité nécessaire pour les services clients et la facturation, ainsi que la personnalisation par carte à puce et la gestion centralisée du système de commutation du réseau (NSS: *network switching system*).
- Des opérateurs de passerelles régionales peuvent être les propriétaires et les exploitants de ces passerelles. L'interface avec les autres passerelles Thuraya sera réalisée par l'intermédiaire du satellite et par les réseaux de Terre publics fixes et mobiles.

FIGURE 35  
Architecture du système Thuraya



### 5.7.3 Terminaux d'utilisateur du système Thuraya

Il existe cinq types de terminaux d'utilisateur:

- 1 Terminaux portables
- 2 Terminaux téléphoniques à prépaiement
- 3 Terminaux à montage véhiculaire
- 4 Adaptateur pour installation privée et bureau (SATEL)
- 5 Terminaux maritimes (optionnels).

Les terminaux portables, véhiculaires et maritimes ont une option bimode, alors que les terminaux adaptateurs SATEL fonctionnent uniquement en mode satellite. Les terminaux bimode utilisent une seule carte SIM pour le mode satellite et le mode GSM.

#### 5.7.3.1 Terminal portable

Ces terminaux sont fabriqués par Hughes Network Systems (Etats-Unis d'Amérique) et par ASCOM (Suisse). D'un poids de 220 grammes, ils possèdent un dispositif incorporé qui leur permet de recevoir les signaux du GPS pour déterminer la position de l'utilisateur aux fins d'affichage et d'accès au réseau.

FIGURE 36

Terminaux d'utilisateur dans le système Thuraya



HNS 7100

SATEL

ASCOM 21

### **5.7.3.2 L'adaptateur SATEL**

Ce produit permet l'utilisation du terminal portable Thuraya à l'intérieur des bâtiments, par exemple dans les domiciles ou les bureaux. SATEL complète le terminal portable en étendant son utilisation et ses fonctionnalités à l'intérieur, là où le signal du satellite est trop faible. Il est facile d'associer physiquement le terminal portable Thuraya et le SATEL: il suffit de brancher le terminal portable dans une fente spécialement prévue à cet effet dans le SATEL. Une fois cette connexion réalisée, on obtient tous les services par satellite habituels: téléphonie, télécopie, transmission de données, et les services supplémentaires.

### **5.7.3.3 L'adaptateur de connexion véhiculaire (VDA, *vehicular docking adapter*)**

Cet adaptateur constitue une station pour la recharge du terminal portable et pour son utilisation dans les véhicules. Le VDA complète le terminal portable Thuraya en étendant son utilisation et ses fonctionnalités dans les environnements dynamiques mobiles. Il est facile d'associer physiquement le terminal portable au VDA: il suffit de brancher le terminal dans une fente spécialement prévue à cet effet dans le VDA.

### **5.7.4 L'interface hertzienne Thuraya**

L'Institut européen des normes de télécommunication (ETSI) et la Telecommunications Industry Association (TIA) ont coopéré pour élaborer les spécifications de l'interface hertzienne destinée au système à satellites Thuraya. Ces spécifications, appelées Geo Mobile Radio-1 (GMR-1) sont dérivées de la norme GSM. Il s'agit d'un concept dual, car on peut avoir accès aux services mobiles par satellite sur la base d'une norme qui intègre la plupart des caractéristiques du GSM.

L'interface hertzienne GMR-1 a été déduite de la norme GSM, mais elle possède d'importantes caractéristiques additionnelles qui l'optimisent pour l'adapter aux particularités des télécommunications par satellite. La norme GMR-1 prend en charge également les services du GSM phase 2, tels que le SMS, la radiodiffusion cellulaire, etc.

### **5.7.5 Homologation des terminaux**

Les terminaux Thuraya sont conformes aux spécifications pertinentes de l'UIT, de l'ETSI et de l'IEEE concernant la compatibilité électromagnétique et la protection contre les brouillages et les rayonnements.

#### **5.7.5.1 Certification du Mémoire d'accord de l'UIT sur les GMPCS**

Thuraya est également signataire du GMPCS-MoU, moyennant quoi elle se conformera à toutes les conditions et réglementations attachées à ce Mémoire. Thuraya a signé ce texte le 20 mai 1998.

Thuraya et les entreprises qui construisent ses terminaux portables – Hughes Network Systems et Ascom – ont appliqué toutes les procédures pertinentes énoncées dans le Mémoire d'accord sur les GMPCS ainsi que les normes et spécifications y relatives. En conséquence, l'UIT a autorisé ces constructeurs à apposer le label du Mémoire GMPCS de l'UIT, qui atteste la conformité auxdites spécifications.

#### **5.7.5.2 Autorisation réglementaire régionale**

Un certain nombre d'autorisations réglementaires nécessaires facilitent l'introduction des services Thuraya en Europe. Ces Décisions et Recommandations sont traitées et approuvées par les organes subalternes compétents de la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT), à savoir respectivement le Comité européen des autorités compétentes en matière de réglementation dans le domaine des télécommunications (ECTRA) et le Comité européen des radiocommunications (CER).

Les deux Décisions suivantes ont été approuvées par le CER au cours de sa réunion de mars 2001:

– **ERC/DEC/(01)24**

Décision du CER sur la libre circulation et l'utilisation des terminaux mobiles d'utilisateurs du système Thuraya dans les pays membres de la CEPT.

– **ERC/DEC/(01)25**

Décision du CER sur l'exemption de licence individuelle des terminaux mobiles d'utilisateurs du système Thuraya dans les pays membres de la CEPT.

A leur réunion commune de juillet 2001, l'ECTRA et le CER ont approuvé la Recommandation suivante de l'ECTRA:

– **ECTRA/REC(01)02**

Recommandation de l'ECTRA sur la conformité chronologique, en Europe, des S-PCS fonctionnant dans les bandes 1 525-1 544/1 545-1 559 MHz et 1 626,5-1 645,5/1 646,5-1 660,5 MHz.

### 5.7.6 Spectre de fréquences

La Conférence mondiale des radiocommunications de 1997 a attribué les bandes de fréquences 1 525-1 559 MHz et 1 626,5-1 660,5 MHz à l'ensemble du SMS. Thuraya participe à la coordination des fréquences au titre du Mémorandum d'accord pour la réunion multilatérale (MLM MoU) relative à l'utilisation de la bande L par le SMS/OSG dans les Régions 1 et 3; elle a reçu une portion de spectre dans les bandes 1 525-1 559 MHz/1 626,5-1 660,5 MHz lors de la première réunion de revue des opérateurs (ORM) du SMS/OSG utilisant la bande L dans les Régions 1 et 3. Cette coordination est un processus multilatéral prévu par les Règlements de l'UIT et, en tant que tel, reconnu par l'UIT et fonctionnant avec la participation de tous les autres opérateurs de satellites OSG et réseaux utilisant ces satellites.

Le système Thuraya mettra en œuvre les bandes de fréquences suivantes pour fournir ses services:

Liaisons d'utilisateurs	1 525-1 559 MHz (espace vers Terre) 1 626,5-1 660,5 MHz (Terre vers espace)
Liaisons de connexion	3 400-3 625 MHz (espace vers Terre) 6 425-6 725 MHz (Terre vers espace)

### 5.7.7 Services Thuraya

#### Services de base

- Téléservices
- Téléphonie vocale
  - Services d'urgence
  - Télécopie Groupe 3
  - Diffusion de faisceau SMS

- Services supports
- Services de données asynchrones (2,4-9,6 kbit/s)

#### Services supplémentaires

- Renvoi d'appel, interdiction d'appel, appel en instance, mise en garde
- Présentation d'identification de la ligne appelante (PILA)
- Avis de taxe
- Communication conférence
- Service de groupe fermé d'utilisateurs

#### Services à valeur ajoutée

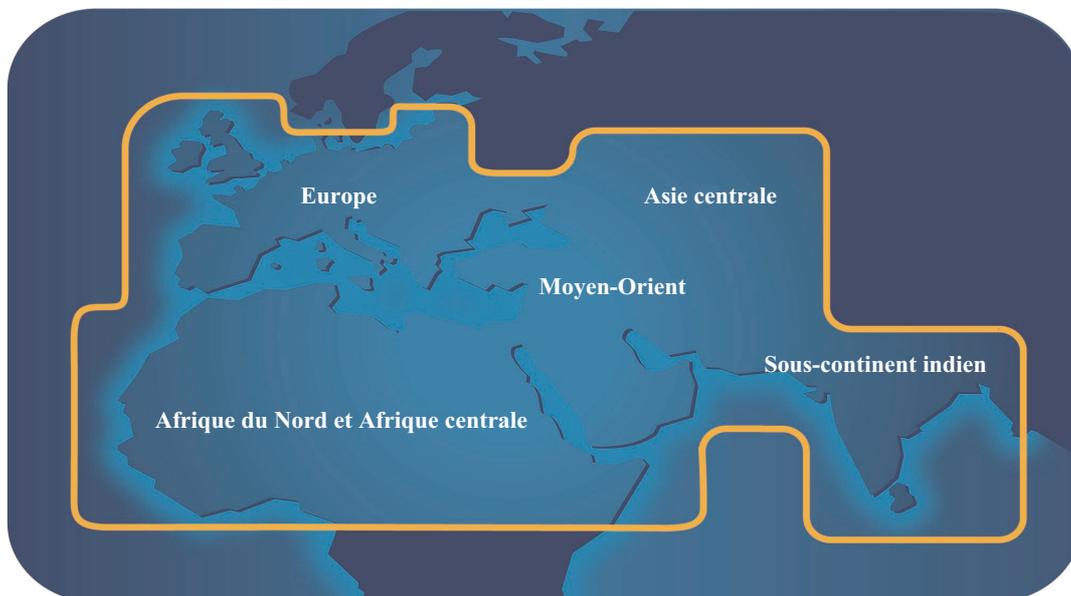
- Service de messages courts (SMS)
- Messagerie vocale
- Services assistés par opératrice
- Réponse vocale interactive (IVR)
- Services avec prépaiement
- Facturation en temps réel

### 5.7.8 Zone de couverture

Le système Thuraya couvrira environ un cinquième des masses continentales, soit 99 pays ayant une population totale de l'ordre de 2,5 milliards d'individus, avec un PNB cumulé de quelque 3,1 trillions de dollars des Etats-Unis d'Amérique. Or, on compte seulement 130 millions de lignes téléphoniques fixes dans ces régions (Europe occidentale non comprise). Quelques pays de cette zone figurent parmi les nations les plus riches du monde, mais beaucoup sont des pays en développement qui éprouvent d'énormes difficultés pour améliorer l'accès aux télécommunications fixes et/ou mobiles ainsi que la qualité de ces télécommunications.

Thuraya projette aussi d'étendre sa zone de couverture à une autre région avec son deuxième satellite.

FIGURE 37  
Zone de couverture du système Thuraya



MSS-37

### 5.7.9 Prestataires de service du système Thuraya

Thuraya a désigné un certain nombre de prestataires de services répartis sur l'ensemble de la zone de service du système.

### 5.7.10 Accords d'itinérance

Thuraya a signé plusieurs accords d'itinérance avec des opérateurs GSM basés dans différents pays d'Asie, d'Afrique, d'Europe et en Australie.

### 5.7.11 Contacts

Courrier électronique: [info@thuraya.com](mailto:info@thuraya.com)

Site web: [www.thuraya.com](http://www.thuraya.com)

Téléphone: + 971 2 6422222

Télécopie: + 971 2 6419797

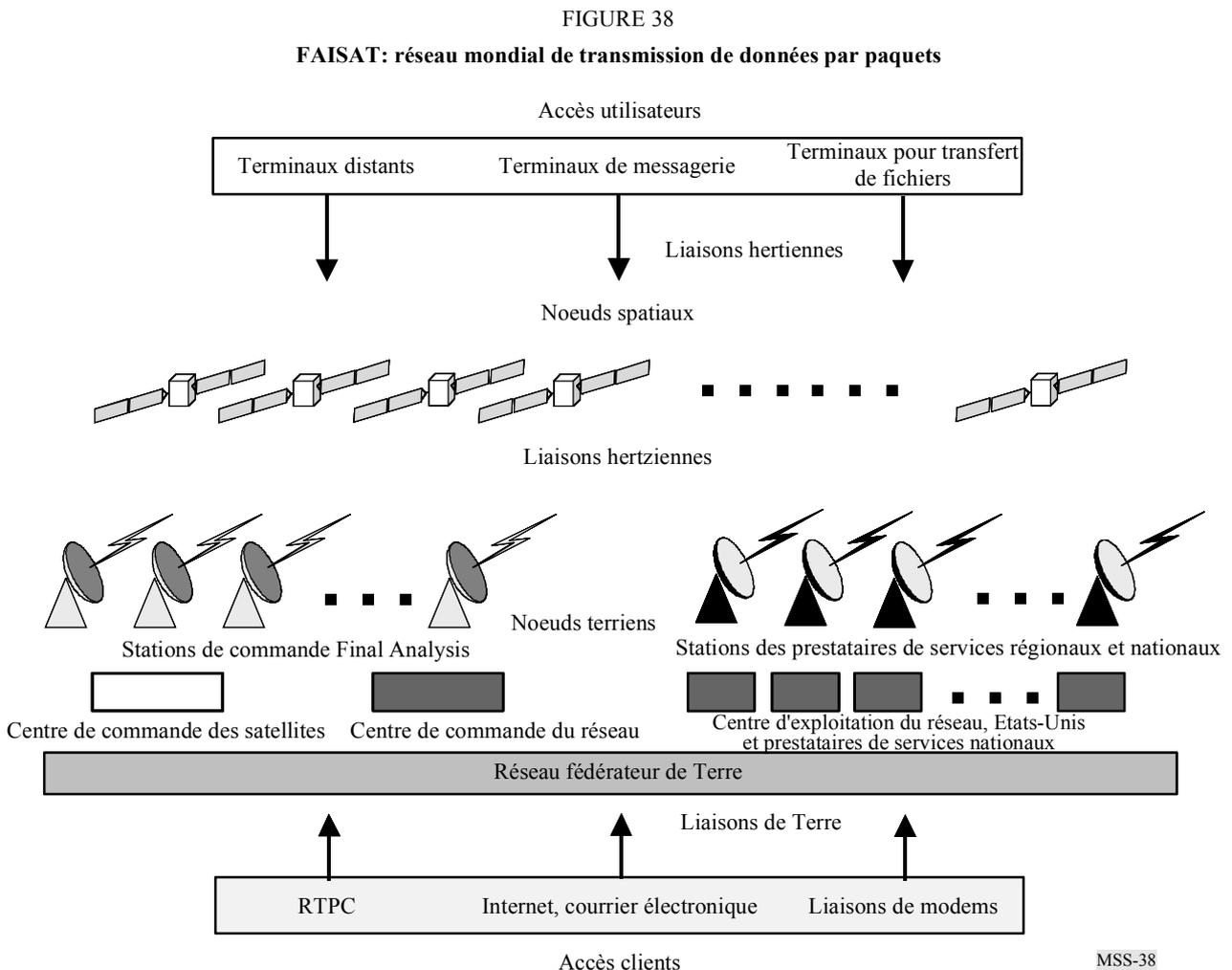
## 5.8 Le système hertzien mondial FAISAT™

### 5.8.1 Introduction

On trouvera ci-après une description générale du système hertzien mondial FAISAT™, système de portée mondiale mis en place actuellement par la société Final Analysis. Celle-ci fournira par voie hertzienne des services mobiles de transmission de données et des services Internet à l'intention des entreprises, des autorités publiques et des particuliers. Les travaux de construction et le déploiement des infrastructures spatiale et terrienne de Final Analysis sont en cours d'exécution par la société et par ses partenaires et bailleurs de fonds stratégiques: General Dynamics, Raytheon, L-3 Communications et Polyot (Russie). Le service commercial débutera en 2003 et il est prévu que la constellation de satellites sera en place en totalité en 2004. Des renseignements complémentaires sont disponibles sur le site web de Final Analysis: <http://www.finalanalysis.com/>.

### 5.8.2 Vue d'ensemble du système

Le système FAISAT est un réseau mondial de transmission de données par paquets. La constellation de satellites sur LEO offre des «nœuds de réseau» spatiaux qui permettent l'accès hertzien des utilisateurs à partir de petits terminaux. Le secteur terrien fournit des nœuds de réseau locaux pour l'accès des utilisateurs sur lignes. Les satellites sont reliés aux éléments terriens du réseau par des liaisons radioélectriques qui aboutissent aux stations terriennes (Fig. 38).



Le système FAISAT dispose de deux types de configurations orbitales:

- la configuration autorisée actuellement, et
- une configuration modifiée qui est en cours d'examen, aux fins d'approbation, par la Federal Communications Commission (FCC) des Etats-Unis d'Amérique. La FCC a autorisé la FACS (*Final Analysis communications services inc.*), à mettre en place un système à satellites non OSG du type «mini LEO» pour des communications non vocales: constellation de 26 satellites opérationnels avec 4 satellites en réserve sur orbite. FACS a aussi demandé l'autorisation de réaliser un système plus performant, comportant une constellation de 32 satellites opérationnels et 6 en réserve. Les satellites supplémentaires élargissent la couverture totale, y compris les zones de recouvrement partiel (redondance). Par ailleurs, FACS a proposé une inclinaison orbitale moindre, afin d'obtenir un profil de couverture plus sûr dans les régions les plus peuplées de la planète.

Le réseau FAISAT est complété par les nœuds terriens. Ces nœuds sont constitués par les stations terriennes RF (liaisons de base espace vers Terre) et les centres d'exploitation du réseau (points d'accès des utilisateurs par câble).

### 5.8.2.1 Principe d'exploitation

Ces services sont fournis à l'échelon local, régional et mondial selon trois modes d'exploitation: en temps réel, en temps quasi réel et avec enregistrement et retransmission. Dans chacun de ces modes, l'émission des messages peut être soit programmée, soit déclenchée par les événements. Les services commerciaux auront des caractéristiques additionnelles, comme celles que l'on trouve dans d'autres systèmes de transmission de données par paquets: diffusion à un groupement, traitement spécifique des messages d'alerte, techniques de garantie de fiabilité, itinérance internationale ininterrompue et accusé de réception facultatif.

### 5.8.2.2 Plan de fréquences

La FCC a assigné à Final Analysis une partie du spectre que les Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) ont attribué aux systèmes du type mini LEO. Les efforts se poursuivent pour obtenir des attributions supplémentaires destinées à des systèmes mobiles à satellites fonctionnant au-dessous de 1 GHz (mini LEO) dans les bandes d'ondes décimétriques et la bande L (dans cette dernière bande, pour les liaisons de connexion). On voit que Final Analysis peut compter, dans son plan de fréquences, sur des portions de spectre déjà assignées et des portions qui seront assignées ultérieurement.

Le Tableau 30 spécifie le plan de fréquences actuel du système Final Analysis.

TABLEAU 30

### Plan de fréquences du système Final Analysis

Liaison	Canal (MHz)	Attribution par l'UIT	Fréquence centrale (MHz)
Liaison descendante (Liaisons de service ou liaisons de connexion)	137,0-138,0	CAMR-92	Plusieurs
Liaisons de service montantes	148,0-149,9	CAMR-92	Plusieurs
Liaisons de service montantes	454-456	CMR-95 et CMR-97	Plusieurs
Liaisons de service montantes	459-460	CMR-95	Plusieurs
Liaison de connexion montante	150,0-150,05	CAMR-92	150,025
Liaison descendante (Liaisons de service ou liaisons de connexion)	400,505-400,645	WARC 1992	400,5284 400,5750 400,6217

De par sa conception, le satellite est capable de prendre une large gamme de fréquences et il sera possible d'effectuer l'attribution dynamique des canaux, conformément aux conditions d'octroi des licences imposées dans les différents pays et les différentes régions du monde.

Final Analysis est tenue de partager certaines fréquences des bandes indiquées ci-dessus avec d'autres systèmes à satellites, notamment des systèmes du type mini LEO et certains systèmes internationaux de satellites de météorologie. Dans les bandes des liaisons montantes, le partage des fréquences avec les systèmes fixes et mobiles et les autres mini LEO est réalisé à l'aide d'un algorithme dynamique d'assignation de fréquence embarqué dans le satellite, avec utilisation de canaux temporairement inemployés. Le partage avec les satellites de météorologie se fait par action de commutation sur les émetteurs et les fréquences pendant les périodes de chevauchement des faisceaux de rayonnement des satellites.

### 5.8.2.3 Fonctionnement des satellites et du secteur terrien

Le fonctionnement des satellites sera dirigé à partir d'un seul SCC. Ce centre surveillera les paramètres d'état, de configuration et de qualité et enverra des commandes à chaque station. De cette façon, les stations au sol sont commandées en coordination avec le fonctionnement des satellites; elles peuvent fonctionner sans personnel, en dehors des mesures périodiques de maintenance préventive et corrective.

Le contrôle de fonctionnement du réseau consiste dans la surveillance et la commande du réseau mondial, de bout en bout. Il porte sur le NCC, les NOC, l'équipement de télécommunication des satellites, les interfaces terminales d'utilisateur et le réseau fédérateur de Terre. On prévoit une structure décentralisée, à deux niveaux, pour le contrôle de fonctionnement du réseau. Le NCC constitue le niveau supérieur de la gestion du réseau: configuration du réseau, surveillance et commande du système et autres fonctions de commande du réseau.

Le second niveau est constitué par les NOC. Ces centres sont chargés de la surveillance et de la commande du réseau pour la zone de service locale, y compris le fonctionnement des NOC eux-mêmes et la section terminale du service de réseau aboutissant aux clients et/ou aux centres d'application des revendeurs à valeur ajoutée (RVA). Les prestataires de services nationaux (PSN) sont les propriétaires et les gestionnaires des centres NOC.

### 5.8.2.4 Capacité de messagerie

Le système Final Analysis est conçu spécifiquement pour la communication de paquets de données par salves. Des salves courtes (de durée inférieure à 450 ms) en provenance des terminaux des utilisateurs transmettront les messages de ces derniers sous la forme de paquets de données. Ces paquets, de taille variable, comportent de 10-20 octets à environ 512 octets. Il est possible de grouper des paquets pour former des chaînes capables de transmettre des messages plus longs ou des fichiers.

### 5.8.2.5 Applications commerciales

Final Analysis vise trois applications de service principales:

- Messagerie hertzienne.
- Services d'acquisition de données, surveillance et commande.
- Gestion de ressources.

Les **applications hertziennes de courrier électronique** sont des applications commerciales extrêmement porteuses. Elles recouvrent notamment la messagerie d'entreprise et l'accès à distance à l'information, permettant à des employés itinérants d'échanger des messages et d'avoir accès à des sites web spécialement conçus pour des systèmes de communication mobiles (extraction d'informations d'Internet). Dans les catégories services d'entreprise, les **applications acquisition de données** comprennent la gestion et le contrôle des inventaires, la lecture automatique de compteurs, la télématique des véhicules, la supervision et acquisition de données (SCADA) et les télédiagnostics. Ce groupe d'applications recouvre les mesures, la surveillance et la commande de ressources distantes. Les **applications de gestion de ressources** s'entendent d'une gestion plus efficace des ressources et de la main-d'œuvre mobiles, et de l'application de mesures antiviol.

### **5.8.3 Description des éléments**

#### **5.8.3.1 Secteur spatial**

Le secteur spatial est constitué par une constellation de satellites sur LEO qui permet aux utilisateurs d'avoir un accès hertzien au réseau mondial de transmission de données par paquets. Les satellites sont d'un modèle unique; ils sont produits en grande série et font l'objet de lancements successifs. Ce sont des engins de petite taille, à redondance sélective, ayant une durée de vie nominale de 7 ans.

La charge utile de communication se compose de l'équipement radioélectrique embarqué et des antennes embarquées, qui fournissent la capacité de communication pour les opérations commerciales de messagerie de données et pour la commande des satellites.

L'équipement de radiocommunication est associé à une multiplicité de canaux de réception et d'émission et à des groupes de modems sur bandes de fréquences partagées. Émetteurs et récepteurs sont conçus pour pouvoir fonctionner dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques ainsi que dans la bande L.

#### **5.8.3.2 Le secteur terrien du système FAISAT**

Le SCC permet de contrôler le secteur spatial. Il s'agit d'un système de traitement à structure répartie, comportant des postes de travail modulaires et évolutifs reliés à un réseau LAN. Situé dans les locaux de l'installation centrale de Final Analysis, le SCC est en interface avec les stations terriennes distantes de FAISAT et le NCC; il coordonne le fonctionnement du secteur spatial dans le cadre de l'ensemble du réseau.

Le NCC exerce les fonctions suivantes: gestion du réseau mondial, commutation entre les régions, analyse du fonctionnement du système, soutien aux centres NOC pour les services clients, planification au niveau de la constellation, coordination avec le SCC et appui logistique.

Les stations terriennes qui fonctionnent sans personnel, comprennent des antennes de poursuite, des équipements radiofréquence (récepteurs, démodulateurs, émetteurs, modems, etc.) et des interfaces pour les communications en radiofréquence, à quoi s'ajoute un ensemble complet d'équipements de réserve. Les stations terriennes assurent des communications en RF sur les liaisons de service, les liaisons de connexion et sur les liaisons TT&C (télémessure, poursuite et télécommande) pour les opérations de commande et de contrôle des satellites et les opérations commerciales de messagerie de données dans le réseau. Final Analysis aura la propriété des stations terriennes RF implantées aux Etats-Unis d'Amérique et en certains emplacements dans d'autres pays.

Le réseau fédérateur de Terre est le réseau formé de liaisons qui relie les stations terriennes au centre SCC, les centres NOC au NCC et les NOC à leurs stations terriennes.

#### **5.8.3.3 Le secteur terrien des PSN**

Les PSN acquerront, installeront et exploiteront des stations terriennes RF supplémentaires qui s'ajouteront aux nœuds du réseau dont Final Analysis a la propriété. Ces stations terriennes des PSN sont semblables à celles de Final Analysis. Elles réalisent une connectivité sur les liaisons de connexion entre le centre NOC local et les satellites, pour une remise plus sûre et plus rapide des messages de données.

Les stations terriennes des PSN sont des stations sans personnel, comprenant une antenne de poursuite, un équipement radiofréquence, un équipement de traitement de données numériques et des interfaces de réseau.

Les centres d'exploitation de réseau des PSN fournissent tout l'éventail des opérations de gestion du réseau local: commande, surveillance du fonctionnement, traitement et acheminement des messages, archivage des données, appui logistique, services d'information pour les ventes, service direct aux clients, facturation en gros et au détail.

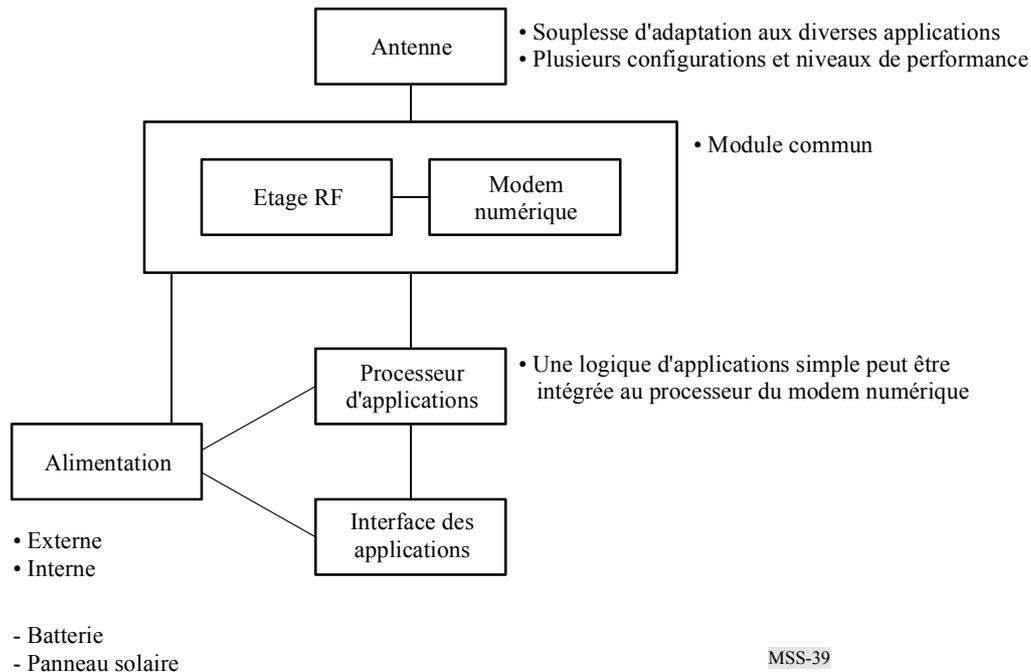
#### **5.8.3.4 Secteur des utilisateurs**

Les terminaux des utilisateurs seront produits dans une variété de formes, de dimensions et de modèles, selon les besoins de chaque secteur du marché et de chaque application.

Ces terminaux se composent de plusieurs éléments fonctionnels principaux (Fig. 39). Un module central est commun à tous les secteurs du marché, il constitue l'élément de base pour les communications hertziennes avec le satellite. Ce module se compose d'une antenne, d'un étage RF, d'un processeur et d'un modem.

FIGURE 39

Schéma de principe du terminal d'utilisateur



Les terminaux, produits en grandes séries, seront mis en vente par les PSN et les RVA. Ils pourront être reconfigurés par l'adjonction de toute une gamme d'options d'antenne, allant de l'antenne de répartition à l'antenne à réflecteur en passant par l'antenne fouet. Leur alimentation en énergie sera réalisée selon plusieurs variantes, en fonction des nécessités du marché.

### 5.8.3.5 Secteur lancement

Final Analysis s'est assuré les services de lancement fournis par la fusée Cosmos construite par la société russe Polyot. Sur les six lancements programmés, quatre concerneront chacun six satellites (configuration à 6 engins) qui seront placés dans les quatre plans à inclinaison moyenne, et deux lancements vers les plans à grande inclinaison. Les deux derniers lancements concerneront de petits satellites auxiliaires.

### 5.8.4 Résumé

Le réseau mondial FAISAT fournira des services hertziens de transmission de données et d'Internet pour applications intéressant les opérations commerciales, les pouvoirs publics et les consommateurs. Le système assurera des services mobiles de données et de messagerie à des marchés ciblés: messagerie hertzienne pour le courrier électronique et autres services liés à l'Internet; gestion de ressources mobiles pour l'industrie des transports; et services d'acquisition, de surveillance et de commande de données. Final Analysis prévoyait les premiers lancements pour 2002 et le déploiement de l'ensemble de la constellation pour 2004. Grâce à sa technologie de pointe, le réseau FAISAT rendra présents dans le monde entier les services de messagerie et de communication de données, et notamment dans les régions où il était impossible précédemment de fournir ces services.

## 5.9 Communications mondiales par le réseau New ICO

### 5.9.1 Introduction et objet

L'objectif de base de New ICO est de développer la plate-forme existante, réalisée par ICO, afin de grouper les réseaux mondiaux, les capacités de distribution et les systèmes d'exploitation nécessaires pour devenir un des premiers prestataires de services mondiaux de transmission de données et de services vocaux de haute qualité.

La société New ICO est parfaitement qualifiée, de par ses possibilités commerciales et financières, pour fournir des services à l'échelle mondiale par son réseau New ICO. Elle possède également la capacité technique et l'expérience commerciale nécessaires pour desservir les marchés mondiaux. La solidité financière de New ICO est le reflet de celle de ses principaux actionnaires Craig O. McCaw; Clayton, Dubilier & Rice et William H. Gates III.

### 5.9.2 Caractéristiques techniques du réseau New ICO (NIN, *New ICO network*)

La Fig. 40 illustre les caractéristiques fondamentales du système New ICO. L'infrastructure de ce système, composée du secteur spatial et du secteur terrien permet aux utilisateurs de New ICO de communiquer les uns avec les autres, ou avec des utilisateurs reliés à un réseau de Terre existant. Un utilisateur de New ICO (qu'il soit à pied, dans un véhicule automobile, dans un avion, à son domicile, à son bureau ou à bord d'un navire) commence par établir une communication directe avec un des satellites qui constituent le secteur spatial de New ICO. Le satellite reçoit le signal de l'utilisateur et le transmet à l'un des 12 nœuds d'accès aux satellites (SAN: *satellite access nodes*) qui, à côté des liaisons par fibres optiques utilisées pour interconnecter les SAN, forment le secteur terrien, appelé ICONET. Dans le SAN, le signal est démodulé, décodé et acheminé vers sa destination finale, qui peut être un autre terminal New ICO ou un réseau public. Les messages destinés à d'autres utilisateurs du réseau NIN sont acheminés, par une liaison à fibres optiques, vers un SAN situé dans la zone de service du destinataire, puis vers un satellite, qui les retransmet par une liaison descendante jusqu'à la surface terrestre. Les messages destinés à des personnes qui ne sont pas des utilisateurs du réseau NIN sont envoyés par le SAN à un réseau public. Dans le sens inverse, les messages en provenance des réseaux publics sont acheminés, par l'intermédiaire de l'ICONET, jusqu'au satellite qui dessert l'utilisateur du système New ICO. En plus des signaux vocaux et de données générés par les utilisateurs de New ICO, l'ICONET est conçu pour acheminer le trafic vocal et de données provenant de tiers.

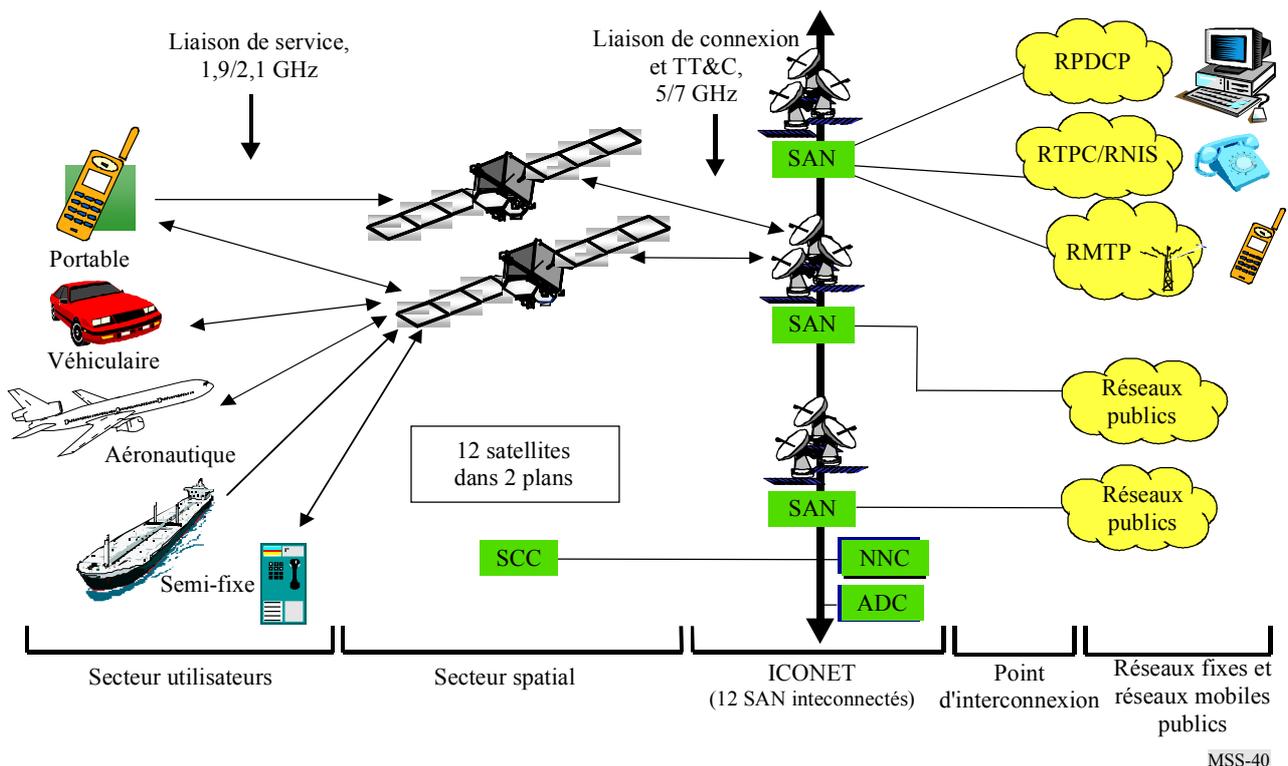
Les caractéristiques de base du réseau NIN sont les suivantes:

- la desserte d'une grande variété d'équipements d'utilisateur;
- l'utilisation de l'interface hertzienne, protocole de communication semblable à celui employé dans les systèmes cellulaires, qui permet à l'équipement d'utilisateur de communiquer avec le réseau. Cette interface, qui sera intégrée aux équipements d'utilisateur et aux stations terriennes, sera développée pour permettre à certains des équipements d'utilisateur de communiquer par l'intermédiaire des satellites à des débits de données pouvant aller jusqu'à 144 kbit/s;
- une constellation de 12 satellites sur MEO, qui permet d'obtenir un taux élevé d'aboutissement des appels et une couverture mondiale; et
- un secteur terrien appelé ICONET, constitué par 12 stations terriennes SAN interconnectées par des liaisons à grande capacité.

Le réseau NIN est conçu selon deux principes: complexité minimale et souplesse maximale. Ces principes ont été mis en œuvre essentiellement par la conception de satellites «transparents», qui effectuent une conversion de fréquence, et amplifient et retransmettent les signaux entre le secteur terrien ICONET et l'équipement des utilisateurs. Dans le réseau NIN, c'est le secteur terrien qui

prend en charge le traitement complexe des signaux (démodulation et décodage) et la détermination de leur acheminement optimal jusqu'à leur destination finale. La connectivité à l'échelle mondiale est obtenue d'une part, grâce à l'interconnexion des points nodaux SAN par des câbles à fibres optiques et, d'autre part, grâce à de grandes empreintes de satellite qui réalisent une couverture véritablement mondiale, incluant les océans et les pôles. Le recours à des satellites «transparents» et à un réseau de stations SAN interconnectées fournit aussi la souplesse nécessaire pour accroître la capacité et introduire des services nouveaux sans modifier le secteur spatial.

FIGURE 40  
Structure du système New ICO



Le mode de conception du réseau NIN garantit une qualité de service élevée grâce à plusieurs paramètres :

- de grands angles d'élévation moyens des satellites, qui réduisent la probabilité de blocage d'une connexion par des obstacles au sol;
- des taux élevés d'aboutissement des appels et de faibles taux de coupures de communications grâce à une gestion efficace de la capacité, cela en tout temps;
- faibles valeurs du temps d'établissement des appels de bout en bout et de la latence (temps de propagation des signaux); et
- qualité des communications comparable à celle que l'on obtient actuellement dans les services mobiles de Terre en exploitation hertzienne.

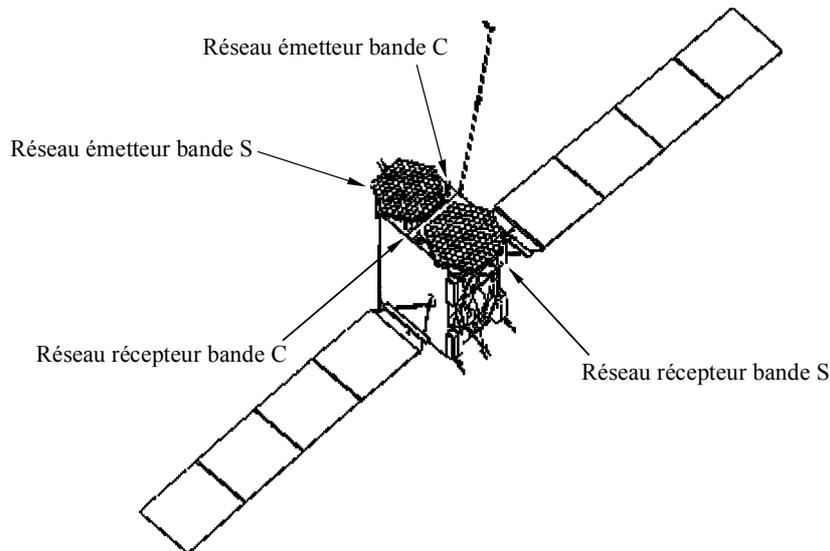
### 5.9.2.1 Secteur spatial

La constellation comprendra 12 satellites sur MEO répartis entre deux plans. Chaque plan orbital sera incliné de 45° sur l'équateur et contiendra six satellites. Avec cette configuration, les coûts et les contraintes de programmation sont réduits à un minimum, notamment la construction des

satellites et les délais de remplacement. Chaque satellite gravitera à une altitude d'environ 10390 km au-dessus de la surface terrestre avec une révolution orbitale de 6 h. L'altitude de la constellation étant relativement grande, chaque satellite donnera sur la surface terrestre une empreinte nettement plus étendue qu'un satellite type évoluant sur LEO. L'empreinte des satellites New ICO gravitant sur MEO aura un diamètre de quelque 14880 km, soit une superficie représentant plus de 30% de la surface terrestre.

La Fig. 41 représente un satellite typique du système New ICO. Les antennes bande C et bande S sont utilisées respectivement pour communiquer avec les stations SAN et avec les terminaux des utilisateurs. Sur la liaison aller (de la station SAN vers le terminal), les signaux sont soumis aux traitements suivants: réceptions des signaux en provenance de la SAN dans les deux polarisations, après transmission en bande C dans des faisceaux à couverture mondiale; abaissement de fréquence jusqu'à une fréquence intermédiaire; et transmission par l'intermédiaire de 490 filtres qui forment chacun un canal de 170 kHz. Le signal de sortie de chacun de ces filtres est transmis à un faisceau ponctuel pour bande S (163 faisceaux au total) pour acheminement jusqu'au terminal de l'utilisateur.

FIGURE 41  
Satellite New ICO



MSS-41

Sur la liaison de retour (du terminal vers la SAN), les signaux à 170 kHz provenant du terminal sont traités comme suit: réception individuelle après transmission dans un des 163 faisceaux ponctuels en bande S; abaissement de fréquence; numérisation; injection dans des amplificateurs TOP; et transmission jusqu'aux SAN par des antennes pour bande C qui forment un faisceau à couverture mondiale. A tout instant, chaque satellite sera normalement en contact direct avec deux à quatre stations SAN. L'affectation des filtres aux faisceaux se fait en fonction de la demande de trafic et sur la base d'un schéma de réutilisation des fréquences à quatre cellules. Cette technique de transmission des signaux permet une utilisation rationnelle du spectre de fréquences attribué.

Avec les satellites New ICO sur MEO, on aura une disponibilité des liaisons supérieure à celle obtenue dans les systèmes concurrents à LEO. Cela est dû, en partie, au fait que l'angle d'élévation moyen des satellites est plus grand, d'où une moindre probabilité de blocage du signal de l'utilisateur. Par ailleurs, l'altitude des satellites New ICO étant plus grande, leur vitesse de déplacement sera nettement plus petite que celle des satellites sur LEO. Il en résulte moins de «transferts» d'un satellite à un autre pendant une communication et une moindre probabilité de coupure des communications. Enfin, cette configuration de satellites a pour conséquence de réduire la complexité et les coûts d'exploitation du secteur spatial.

New ICO a signé avec la firme Hughes Space and Communications Internationale, Inc. un accord pour la construction du secteur spatial. Aux termes de cet accord, Hughes construira tous les satellites de New ICO ainsi que les équipements connexes de télémétrie, poursuite et télécommande. Ce contrat avec Hughes pour les satellites, ajouté aux contrats pour les services de lancement de New ICO et aux dépenses pour l'assurance des satellites, représentent la quasi-totalité de l'investissement de New ICO pour le secteur spatial.

Dans le cadre de sa coopération avec Hughes, New ICO a développé et réalisé la plate-forme du satellite en extrapolant un modèle existant, la plate-forme de satellite Hughes HS601. La durée de vie nominale des engins est de douze ans, près du double de la durée de vie moyenne d'un satellite typique sur orbite basse. Une caractéristique clé du satellite est la séparation entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception de la liaison de service. Il en résulte une simplification de la construction des satellites et une réduction des brouillages entre émission et réception en fonctionnement. Les antennes de la liaison de service ont un diamètre supérieur à 6 pieds (183 cm), ce qui améliore la réception des signaux en provenance des équipements des utilisateurs. D'autres caractéristiques des satellites sont les suivantes: ils transportent une puissance de calcul supérieure à celle de 600 ordinateurs équipés en Pentium III; ils sont dotés d'antennes d'émission et de réception de type entièrement nouveau qui permettent d'établir des liaisons hertziennes directes vers les utilisateurs; et ils contiennent un «processeur intelligent», capable d'adapter la configuration des faisceaux aux conditions de fonctionnement et de maximiser l'efficacité d'utilisation de la largeur de bande disponible. Ces caractéristiques confèrent à New ICO une souplesse d'exploitation sans précédent qui lui permet de répondre, à l'échelle mondiale, aux demandes d'un marché en constante évolution.

Après le lancement, New ICO gèrera les communications établies entre les stations terriennes et les satellites, à partir des centres de contrôle primaires et d'appui. Elle prendra en charge les opérations en orbite et le contrôle des satellites à partir du centre de contrôle primaire situé près de Londres. New ICO dispose des équipements nécessaires pour les fonctions de télémétrie, poursuite et télécommande, dans cinq stations au sol, une sixième devant être mise en exploitation au moment du lancement des services commerciaux. Ces stations assureront une surveillance quasi ininterrompue des satellites en orbite, permettant à New ICO de commander les engins et de réagir rapidement à toutes anomalies éventuelles. Dans un premier temps, le centre de contrôle des satellites communiquera avec les stations terriennes par l'intermédiaire d'un réseau d'appui spécialisé de transmission de données. Au fur et à mesure du déploiement du réseau New ICO, celui-ci intégrera ces communications à l'ICONET. New ICO a installé, et teste actuellement, le centre primaire de contrôle des satellites dans son établissement de Londres. Les équipements de télémétrie, poursuite et télécommande ont aussi été installés en totalité dans cinq stations terriennes et testés.

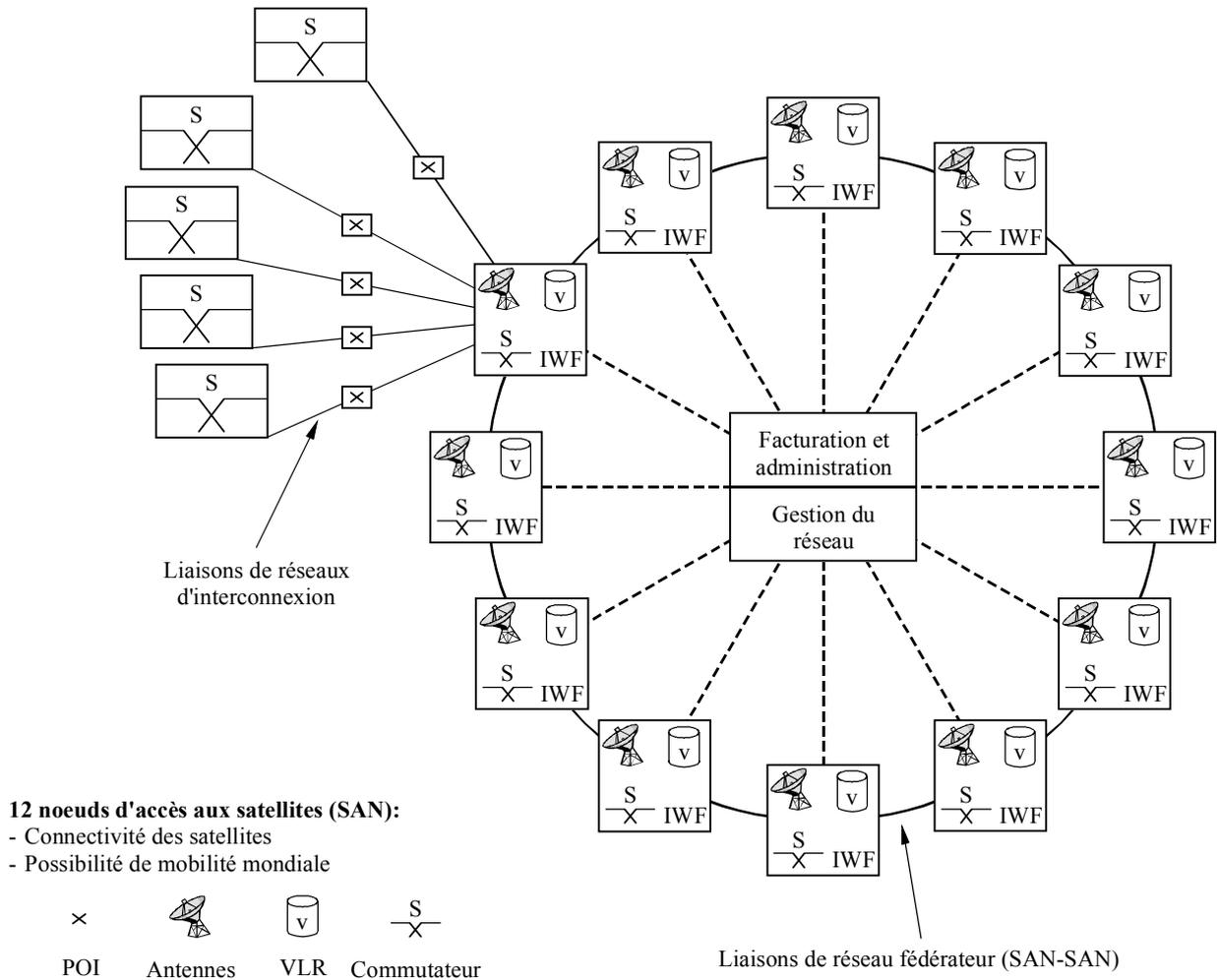
### **5.9.2.2 Secteur terrien**

Les satellites communiqueront avec un réseau au sol (l'ICONET) dans lequel douze stations terriennes seront interconnectées (ces stations étant appelées nœuds d'accès aux satellites (SAN)) dans le système New ICO sur toute la surface du globe (voir la Fig. 42). Chaque SAN est composée de stations terriennes dotées des éléments suivants: plusieurs antennes pour les communications avec les satellites, complétées par un équipement de commutation et des bases de données. L'ICONET et les SAN sélectionneront les acheminements de trafic de manière à fournir aux utilisateurs du système un service de la plus haute qualité et de la plus grande disponibilité possible. Les SAN constitueront l'interface primaire entre le satellite et les réseaux publics. Ils abriteront aussi les équipements chargés d'acheminer les signaux des satellites pour distribution ultérieure aux réseaux publics concernés. Chaque SAN exécutera les opérations suivantes: poursuite des satellites présents dans son champ de vision; acheminement du trafic vers le satellite optimal pour obtenir la liaison la plus performante; et, le cas échéant, exécution des transferts entre satellites pour assurer la continuité de la communication.

FIGURE 42  
Le réseau au sol du système New ICO

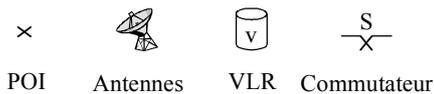
**Interconnexion avec d'autres réseaux**

– Point d'interconnexion (POI) entre les systèmes et les réseaux d'interconnexion RTPC, RMTP et RPDCP



**12 nœuds d'accès aux satellites (SAN):**

- Connectivité des satellites
- Possibilité de mobilité mondiale



- HLR: Registre de localisation et de rattachement
- VLR: Registre de localisation des visiteurs
- IWF: Fonction d'interfonctionnement
- AuC: Centre d'authentification
- POI: Point d'interconnexion

MSS-42

**5.9.2.3 Le réseau ICONET**

L'ICONET sera un réseau de télécommunication d'extension mondiale composé de 12 stations terriennes, avec des centres primaires et d'appui pour la gestion du réseau, tous ces éléments étant reliés les uns aux autres par des câbles à fibres optiques redondants de grande capacité.

Chaque station terrienne réalisera l'interface entre les satellites et les réseaux de Terre et gèrera l'acheminement sur le réseau New ICO. Chacune d'elle se composera de cinq éléments principaux:

- cinq antennes au sol, chacune avec l'équipement associé nécessaire pour communiquer avec les satellites;
- des nœuds de commutation de circuits et par paquets, chargés d'acheminer le trafic sur l'ICONET et d'interconnecter des réseaux terrestres fixes et mobiles;

- des registres, auxiliaires de la gestion pour la mobilité, les appels et l'accès aux services;
- des plates-formes pour la mise en œuvre de services à valeur ajoutée: téléphonie, télécopie et messagerie de données; et
- des équipements de services généraux de radiocommunication en mode paquets (GPRS), qui achemineront le trafic, stockeront des données et prendront en charge toute une série de services avec protocole Internet.

Chaque station terrienne effectuera la poursuite des satellites présents dans son champ de vision, à l'aide des antennes au sol, et assurera l'acheminement du trafic entre le sol et les antennes des satellites, de manière à garantir la continuité des communications. Outre la gestion des liaisons radioélectriques, New ICO utilisera les stations terriennes commandées par le centre de gestion du réseau pour procéder aux attributions des fréquences et des satellites selon des modalités compatibles avec le trafic et avec les dispositions réglementaires en vigueur dans le pays où fonctionne le terminal de l'utilisateur. L'ensemble du secteur terrien sera exploité de manière telle que soient fournis des services cohérents de haute qualité, avec des coûts d'interconnexion gérables.

Le système de commutation de circuits et par paquets du réseau ICONET est conçu sur la base des normes GSM et IP. Les commutateurs d'ICONET utiliseront des bases de données informatiques, appelées registres de réseau, pour gérer l'accès des clients aux services de télécommunication. Ces commutateurs établiront, achemineront et feront aboutir les appels dans le réseau NIN, et enregistreront les caractéristiques d'utilisation du service pour les besoins de la facturation. New ICO a construit et aménagé des sites pour onze stations terriennes SAN et prend actuellement des dispositions pour un douzième site en Chine.

Dans chaque station terrienne, les registres de réseau recueilleront des renseignements relatifs aux équipements des utilisateurs de New ICO enregistrés dans la station SAN correspondante. Ces registres permettront à New ICO de gérer l'accès des clients aux services et l'acheminement du trafic jusqu'aux équipements des utilisateurs de New ICO. Des logiciels d'authentification vérifieront l'identité des utilisateurs, ce qui réduira notablement le risque d'utilisation frauduleuse du réseau New ICO. New ICO a déjà installé et testé des équipements de commutation dans onze stations terriennes SAN, dix de ces équipements ayant subi l'intégralité des tests.

Les stations SAN réaliseront l'interconnexion d'ICONET avec les réseaux terrestres fixes et mobiles du pays hôte et, par l'intermédiaire des installations de commutation internationale de ce pays, l'interconnexion avec d'autres pays. Les stations SAN sont capables de transférer les appels vers les systèmes terrestres locaux, fixes et mobiles.

Les interconnexions entre l'ICONET et les réseaux terrestres locaux, fixes et mobiles, permettront de transmettre des données sur des liaisons à fibres optiques ayant une capacité de débit de 2 Mbit/s, ou des multiples de ce débit. Ces liaisons à haut débit achemineront du trafic d'utilisateur, du trafic de signalisation et du trafic d'administration du réseau.

New ICO ajoutera des services de réseau à commutation par paquets, avec des routeurs implantés dans les stations SAN, où des points de dérivation donneront accès à des passerelles Internet. Les centres de gestion du réseau surveilleront et commanderont l'activité sur l'ICONET. L'architecture d'ensemble du réseau a été conçue de manière telle qu'un grand nombre de fonctions puissent faire l'objet d'une gestion centrale; la mise en œuvre de centres de gestion du réseau, primaires et en appui, devrait garantir un degré élevé de disponibilité.

#### **5.9.2.4 Interfonctionnement**

**Exploitation en mode circuit:** New ICO projette d'utiliser la norme GSM comme plate-forme de technologie des communications. GSM est actuellement la norme de pointe en matière de communications mobiles numériques et le recours à cette plate-forme permettra à New ICO de

desservir tous les clients dont le réseau national est basé sur ce système, sans avoir à introduire des innovations technologiques. Par ailleurs, New ICO développe actuellement des capacités de services, appelés fonctions d'interfonctionnement, nécessaires pour permettre aux utilisateurs du réseau New ICO de migrer dans des réseaux mobiles qui appliquent d'autres normes, par exemple ANSI-41 (AMRT et AMRC).

**Exploitation en mode paquets et IP:** New ICO fournira des services GPRS et d'autres services basés sur IP, en utilisant au maximum les équipements déjà installés dans les stations terriennes.

#### **5.9.2.5 Intégration des systèmes**

Pour la mise en service de son réseau, New ICO procédera à l'intégration totale du secteur spatial, du secteur terrien, de l'ICONET, des équipements d'utilisateur New ICO, des systèmes d'appui aux opérations commerciales («BOSS») avec interconnexion vers des réseaux fixes et mobiles, et des systèmes des distributeurs. New ICO projette de réaliser cette intégration sur la base de contrats avec plusieurs distributeurs d'intégration de systèmes, parmi lesquels des fournisseurs actuels, et sur la base d'autres contrats relatifs au développement du réseau NIN.

#### **5.9.2.6 Capacité du réseau**

New ICO prévoit que son réseau pourra desservir plus de 14 millions d'abonnés.

### **5.9.3 Description des produits et services de New ICO**

Au moment où il lancera son service, New ICO prévoit de proposer toute une série de produits et de services aux consommateurs et aux entreprises:

#### **5.9.3.1 Service mobile avec téléphone de poche**

Les services New ICO permettront aux clients d'établir des appels téléphoniques en des lieux où il leur serait impossible autrement de recevoir des signaux de téléphonie mobile classique, où les solutions avec systèmes de Terre sont irréalisables et où une solution par satellite s'impose en raison du petit nombre d'usagers dans une zone donnée. Une fois la mise en œuvre achevée, les clients pourront avoir accès à ce service en utilisant un accessoire capable d'adapter un téléphone mobile classique aux communications par satellite en utilisant une technologie hertzienne pour courtes distances. New ICO prévoit que son service mobile avec téléphone de poche permettra la mise en œuvre d'un service vocal de haute qualité et d'autres services des IMT-2000: messages courts, messagerie vocale, renvoi d'appel, transmission de données avec commutation de circuits et accès à l'Internet. New ICO considère que les clients potentiels seront très intéressés par la portabilité des appareils de poche et la haute qualité des services hertziens, à des prix qui soutiendront la concurrence d'autres services.

#### **5.9.3.2 Service mobile**

New ICO fournira des services adaptés aux besoins des utilisateurs des secteurs des transports routiers, maritimes, aéronautiques et d'autres «industries mobiles». Il compte sur les constructeurs pour concevoir et réaliser des équipements d'utilisateur de prix modique à installer dans des poids lourds, des navires et des avions, grâce auxquels les clients auraient accès aux services vocaux et aux services de données basés sur le protocole Internet, partout où se trouveront ces véhicules. Les avantages, pour ces clients, seront un meilleur rendement économique des véhicules et la possibilité de mettre toute une série de services à la disposition des équipages et des passagers.

### **5.9.3.3 Service fixe**

New ICO proposera son service à des clients résidant dans des zones insuffisamment desservies par les réseaux de Terre actuels. Ce service nécessitera l'installation d'une antenne extérieure, montée au domicile ou au bureau du client. Cette antenne extérieure communiquera avec un appareillage intérieur par l'intermédiaire d'un câble ou par un moyen hertzien. New ICO prévoit d'offrir des communications vocales ou de données dans le cadre de ce service. Parmi les utilisateurs potentiels, on peut citer à titre d'exemples les sites industriels distants (plates-formes de forage et exploitations minières) et les usagers privés résidant soit dans des zones isolées où il faut prévoir de longs délais pour obtenir les services de Terre traditionnels, soit dans des zones non desservies.

### **5.9.3.4 Services de messagerie bilatéraux**

Ce service de New ICO sera conçu pour assurer la messagerie dans les deux sens, à destination ou en provenance d'un point quelconque du globe. Les principaux marchés visés sont les secteurs des transports, du trafic maritime et de l'aviation. Le service permettra aux clients de ces secteurs économiques, et d'autres, d'échanger des données de position et de localisation. La messagerie bilatérale s'intègre bien aux systèmes de communication, existants et en projet, mis à disposition par d'autres fournisseurs. Elle permettra aux opérateurs de parcs de véhicules de gérer leurs activités logistiques et opérationnelles, de repérer les marchandises pour actualiser les livraisons, de surveiller et programmer la maintenance préventive des matériels et de prévenir des vols et les pratiques frauduleuses. On compte sur la messagerie en temps réel pour permettre la transmission de renseignements de localisation en temps réel, et sur la messagerie en temps quasi réel pour permettre aux exploitants de wagons de chemin de fer et d'autres véhicules de fournir ces renseignements à intervalles réguliers. Tel qu'il est prévu actuellement, ce service de messagerie n'imposera aucune limite à la longueur des messages transmis.

### **5.9.3.5 Services mobiles type IP**

Le perfectionnement du réseau New ICO, conduisant à la constitution d'un système de transmission de données par paquets, permettra à New ICO de proposer des services de données basés sur le protocole Internet. Ces services s'adresseront à des clients dont les besoins en matière de connectivité ne sont pas satisfaits par les services de Terre. Outre les services téléphoniques, New ICO oriente ses études de telle manière que son réseau puisse prendre en charge tout protocole ou application d'Internet traitée actuellement par les réseaux de Terre, par exemple le courrier électronique et l'accès à l'Internet.

En réalisant la connectivité et l'accès à l'Internet à l'échelle mondiale, New ICO donnera aux entreprises et aux particuliers la possibilité de bénéficier de cet accès partout dans le monde, à des débits comparables à ceux que l'on trouve à présent uniquement dans les zones urbaines développées. On prévoit que, dans un premier temps, le réseau NIN pourra assurer des services bilatéraux de transmission de données par paquets à des débits qui iront jusqu'à 56 kbit/s.

## **5.9.4 Questions relatives au spectre radioélectrique**

### **5.9.4.1 Besoins du système New ICO en matière de spectre**

Compte tenu des attributions de fréquences faites par l'UIT lors de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications de 1992 (CAMR-92) et de la Conférence mondiale des radiocommunications de 1995 (CMR-95), les satellites New ICO ont été conçus pour fonctionner dans les conditions suivantes:

- Liaisons de service dans les bandes 1 980-2 015 MHz (liaison montante) et 2 170-2 200 MHz (liaison descendante).
- Liaisons de connexion, entre les stations SAN et les satellites, dans les bandes 5 120-5 250 MHz (liaison montante) et 6 975-7 075 MHz (liaison descendante).

Les stations terriennes SAN du réseau NIN n'utiliseront les fréquences des liaisons de connexion que dans les pays où ces stations sont implantées (Brésil, Chili, Mexique, Etats-Unis d'Amérique, Allemagne, République sudafricaine, Emirats arabes unis, Inde, Chine, Indonésie, Corée et Australie).

En raison des différences régionales entre les attributions de fréquences faites par l'UIT au SMS, les fréquences des liaisons de service du système New ICO disponibles pour les assignations dans les gammes d'exploitation indiquées ci-dessus sont les suivantes:

<i>Liaison de service:</i>	<i>Terre vers espace</i>	<i>espace vers Terre</i>
Région 1 de l'UIT	1 980-2 010 MHz	2 170-2 200 MHz
Région 2 de l'UIT	1 990-2 015 MHz	2 170-2 200 MHz
Région 3 de l'UIT	1 980-2 010 MHz	2 170-2 200 MHz

La Région 1 s'étend sur l'Europe, l'Afrique, le Moyen-Orient et la Communauté des Etats indépendants; la Région 2, sur les Amériques; et la Région 3, sur l'Asie, l'Australie et l'Océanie.

Dans un premier temps, le système New ICO devra utiliser 15 MHz dans chacune des bandes Terre vers espace (1 995-2 010 MHz) et espace vers Terre (2 185-2 200 MHz), pour répondre aux besoins de trafic prévus pour le système. En même temps, il se peut que New ICO souhaite opérer également dans le spectre adjacent aux bandes 1 995-2 010 MHz et 2 185-2 200 MHz, afin d'assurer la compatibilité d'utilisation entre des pays différents, durant la phase de démarrage des opérations.

Les fréquences utilisées par le réseau à satellite New ICO sont coordonnées au titre des dispositions de la Résolution 46 (Rév.CMR-97)/numéro 9.11A du RR. La demande de coordination du système New ICO a été publiée par l'UIT, sous la cote ICO-P, dans les Sections spéciales RES46/C/167 (Circulaire 2256/03.12.1996), RES46/C/167 MOD-1 (Circulaire 2291/19.08.1997) et RES46/C/167 MOD-2 (Circulaire 2301/28.10.1997).

### **5.9.5 Conclusion**

New ICO ambitionne d'être le principal prestataire de services de transmission de données et de téléphonie de haute qualité, partout dans le monde. A cette fin, la compagnie a adopté une stratégie dont les éléments clés sont les suivants:

- fournir les services en s'appuyant sur un réseau de communication intégré fonctionnant en mode paquets, composé d'une constellation de satellites et d'une infrastructure de télécommunications mondiale au sol;
- fournir des services de transmission de données et de téléphonie à grande largeur de bande à des prix compétitifs avec la même qualité de communication, ou meilleure, que dans les réseaux de Terre hertziens exploités actuellement;
- valoriser le réseau New ICO qui, au moment du lancement du service, sera perfectionné par incorporation d'un système fonctionnant en mode paquets, afin d'offrir une série de nouveaux services hertziens de la prochaine génération (IMT-2000) et afin d'élargir les marchés; et
- mettre en place une distribution efficace en utilisant les filières de distribution existantes et en développant de nouvelles filières de vente directe.

New ICO s'engage à faire bénéficier les marchés mondiaux de son système, de ses produits et de ses services.

## **5.10 Système mobile européen à satellite (EMSAT)**

### **5.10.1 Vue d'ensemble**

EMSAT est un système de télécommunication par satellite, mis à disposition par l'opérateur italien Telespazio et diffusé par EUTELSAT. Ce système utilise le satellite OSG ITALSAT F2, qui communique avec la station terrienne de Lario (Italie du Nord) et avec des téléphones satellites distants ou mobiles, à l'intérieur de la vaste zone de couverture européenne du satellite. Le système permet d'accéder à des services numériques de téléphonie, transmission de données et télécopie, dans des régions qui ne pouvaient pas être desservies par les systèmes de Terre préexistants, par exemple les systèmes téléphoniques mobiles fonctionnant avec répartition des canaux ou les systèmes de téléphonie cellulaire.

Parmi les autres caractéristiques du système EMSAT, citons le service de messages courts (y compris service d'urgence) et un système GPS facultatif de radiorepérage et de signalisation de position.

### **5.10.2 Architecture du système**

Le système EMSAT permet aux utilisateurs d'établir des communications de téléphonie, de données et de télécopie à partir d'un téléphone satellite, par l'intermédiaire du satellite OSG et de la station terrienne du système, à destination du réseau téléphonique RTPC (voir la Fig. 43).

Les principaux éléments du système EMSAT sont actuellement les suivants:

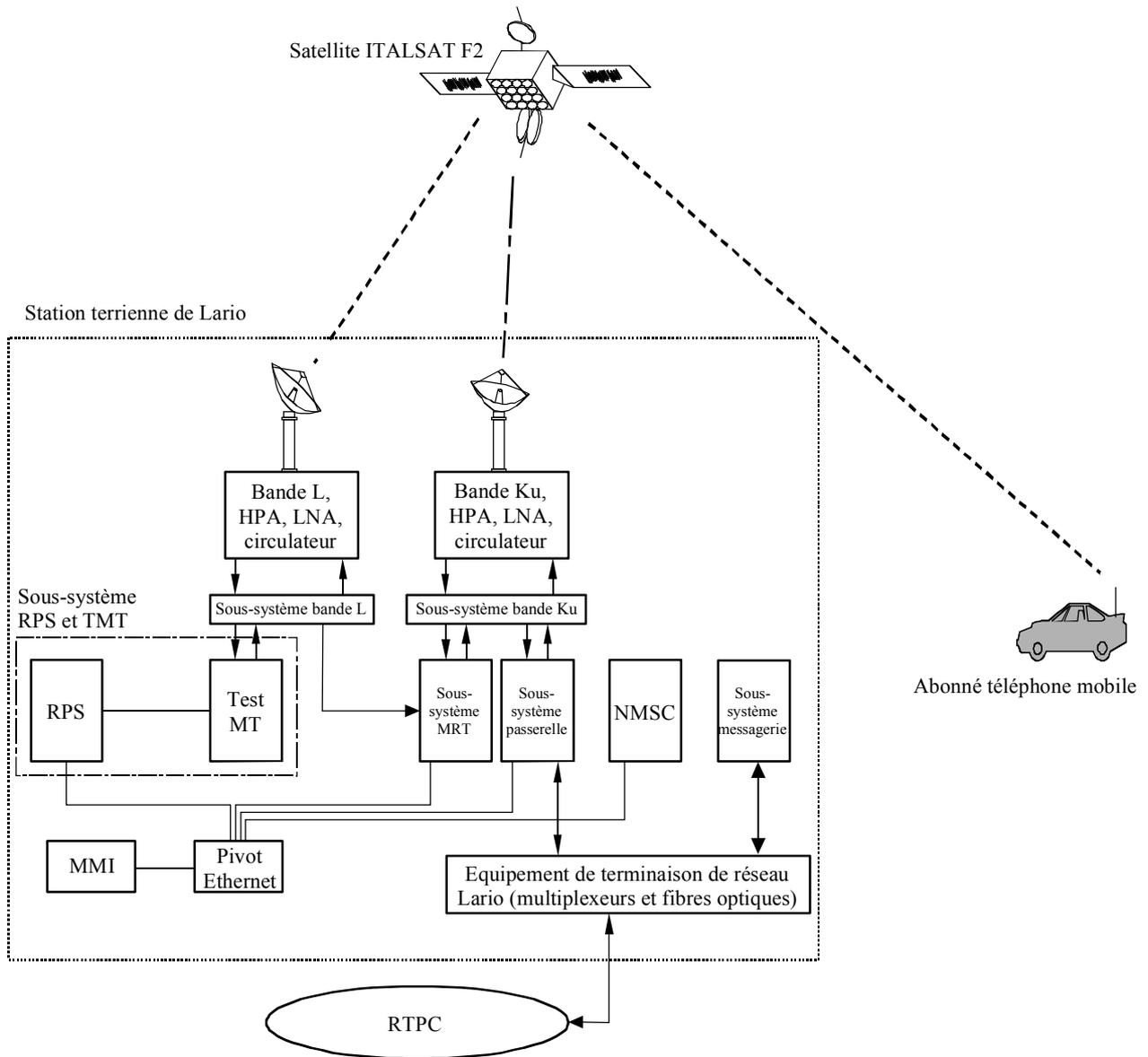
- le secteur spatial;
- la station terrienne;
- les émetteurs-récepteurs téléphoniques mobiles (téléphones satellites mobiles).

### **5.10.3 Le secteur spatial**

Les communications entre la station terrienne EMSAT et les téléphones satellites mobiles passent par le satellite OSG ITALSAT F2. Lancé en août 1996, ce satellite transporte la charge utile EMS, composée de répéteurs qui convertissent les fréquences de la bande Ku, émises par le secteur terrien, en fréquences de la bande L nécessaires pour faire fonctionner les téléphones satellites mobiles. Les signaux envoyés par les téléphones satellites sont ensuite transposés, dans le satellite, de la bande L à la bande Ku avant d'être retransmis à la station terrienne (voir la Fig. 44).

FIGURE 43

Schéma de principe du système EMSAT



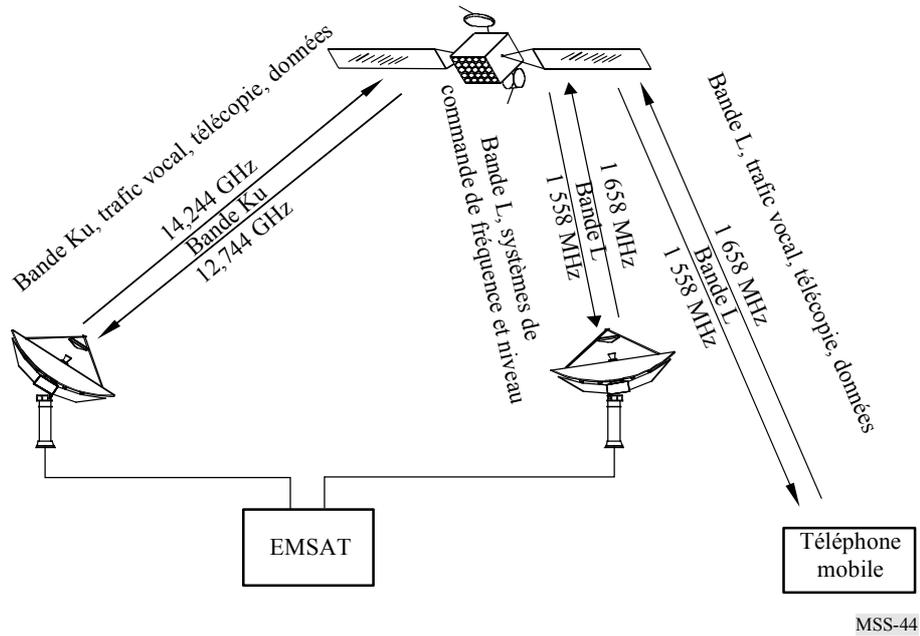
----- Bande L  
————— Bande Ku

MT: Téléphone mobile  
RPS: Surveillance processeurs distants (*remote processor supervisory*)  
HPA: Amplificateur haute puissance (*high power amplifier*)  
LNA: Amplificateur à faible bruit (*low noise amplifier*)

NMSC: Ordinateurs du système de gestion du réseau (*network management system computers*)  
MMI: Interface homme-machine (*man machine interface*)

FIGURE 44

**Communications dans le secteur spatial**



On trouvera ci-après les fréquences de fonctionnement de la charge utile EMS:

TABLEAU 31

**Fréquences de fonctionnement de la charge utile EMS**

	<b>Bande</b>		<b>Gamme de fréquences (MHz)</b>
Station terrienne ⇔ satellite	Bande Ku	Emission	14 236,0-14 240,0 14 246,0-14 250,0 14 241,0-14 245,0
		Réception	12 736,0-12 740,0 12 746,0-12 750,0 12 741,0-12 745,0
Satellite ⇔ téléphone mobile	Bande L	Emission	1 631,5-1 635,5 1 641,5-1 645,5 1 656,5-1 660,5
		Réception	1 530,0-1 534,0 1 540,0-1 544,0 1 555,0-1 559,0

La capacité du secteur spatial sera complétée par une capacité de secours louée sur un des satellites Inmarsat-3 qui fournit la couverture européenne voulue par faisceau ponctuel. Des perfectionnements seront apportés à une antenne bande C spécialisée de la station terrienne de Lario pour rétablir le service du système EMSAT sur le secteur spatial d'Inmarsat en cas de défaillance grave de l'équipement EMS ou du satellite ITALSAT.

#### 5.10.4 La station terrienne

La station terrienne du système EMSAT comporte le matériel et le logiciel nécessaires pour établir les communications par le satellite et réaliser la connexion avec le réseau téléphonique RTPC.

La station se compose d'un certain nombre de sous-systèmes dédoublés, commandés par des ordinateurs eux aussi dédoublés. Des ressources sont affectées et surveillées dès qu'une communication téléphonique est établie, de façon telle qu'en cas de défaillance d'un système ou d'un sous-système, un matériel redondant est automatiquement activé afin que le système reste opérant.

La station terrienne se compose des sous-systèmes de base suivants, qui ont des fonctions spécifiques dans l'établissement et la commande des canaux de communication:

- Système de gestion du réseau (NMS: *network management system*)
- Groupe de MRT
- Passerelle (unités de canaux)
- Système RF, bande Ku et bande L
- Référence 5 MHz
- Sous-système messagerie
- Equipement de surveillance et de commande (RPS).

#### 5.10.5 Terminaux mobiles

Les terminaux se composent de deux ou trois éléments, selon leur constructeur: l'émetteur-récepteur auquel le combiné est relié, la commande d'antenne et l'antenne.

Les différentes antennes de terminal disponibles pour le système EMS sont les suivantes:

- Mât:* longueur 80 cm × diamètre 2 cm (antenne fouet); gain équidirectif en azimuth, gain modèle en élévation. Gain de l'antenne: 7,3 dBi. Montage facile sur tous véhicules.
- Dôme:* 20 cm × 25 cm × 16 cm, orientable. Gain de l'antenne: 9 dBi. Conçu pour être monté sur des poids lourds.
- Profil bas:* antenne motorisée pour applications nécessitant de petites antennes. Le gain est de 7,8 dBi.
- Planaire fixe:* antenne type pour appareil fixe portable. Doit être pointée manuellement en azimuth comme en élévation. Le gain de 14 dBi permet une performance et une utilisation optimales de la puissance du satellite.
- Maritime:* pour applications maritimes nécessitant des antennes stabilisées afin d'assurer la continuité des communications. Le gain est de 16 dBi.

### **5.10.6 Applications**

Le système EMSAT a été conçu pour assurer toute une série de services et de fonctions auxquels pourront accéder de nombreux utilisateurs et organisations. Il sera possible de mettre en place et de mettre en exploitation très rapidement, en quelques heures, un nouveau service téléphonique. Cela signifie que des communications pratiquement instantanées pourront être mises à la disposition de très nombreux utilisateurs, y compris des utilisateurs résidant dans les régions les plus reculées.

Le système se distingue par une couverture de communications totale de la zone visée et par la portabilité des téléphones satellites mobiles. Cela étant, on pourra mettre en place, rapidement et économiquement, des services de communication en des points du globe qu'il pourrait être impossible de desservir pratiquement dans de bonnes conditions économiques par les services de Terre plus classiques. Parmi les applications types du système EMSAT, on peut citer les suivantes:

- **Pouvoirs publics**
    - Autorités responsables du réseau routier, de la distribution de l'électricité et de l'eau
    - Département de la santé publique, office des forêts et parcs nationaux
    - Agriculture et industries primaires
    - Défense
    - Garde côtière.
  - **Communications temporaires d'urgence**
  - **Services médicaux**
  - **Services publics**
    - Surveillance du niveau des cours d'eau et du niveau des bassins hydrographiques ou du débit d'eau des aqueducs
    - Surveillance et commande du pompage dans les oléoducs et des fonctions des stations de compression
    - Surveillance et commande des stations de valves de commande et des sous-stations de distribution d'énergie électrique.
  - **Industries minières, plates-formes d'extraction de pétrole et de gaz**
  - **Transports ferroviaires et routiers**
    - Position, vitesse et consommation de carburant
    - Températures de réfrigération.
  - **Station fixe**
-