

CENTRES RÉGIONAUX DE FORMATION AUX SCIENCES ET TECHNIQUES SPATIALES
(AFFILIÉS À L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES)

Télécommunications par satellite

Programme du cours



Nations Unies

CENTRES RÉGIONAUX DE FORMATION AUX SCIENCES ET TECHNIQUES SPATIALES
(AFFILIÉS À L'ORGANISATION DES NATIONS UNIES)

Télécommunications par satellite

Programme du cours

**Bureau des affaires spatiales
Office des Nations Unies à Vienne**



Nations Unies, 2003

Préface

Les systèmes de télécommunications par satellite ont connu des mutations radicales ces dernières années, passant d'une technologie dominée par les pouvoirs publics et les satellites géostationnaires à des systèmes de satellites en orbite basse et moyenne exploités par des entreprises privées. Il s'agit de nouveaux systèmes multifaisceaux qui forment à la surface de la Terre des cellules semblables à celles utilisées par les systèmes de téléphonie cellulaire terrestre, et peuvent acheminer divers types de données allant de la voix aux communications par Internet.

Les satellites de télécommunications sont des stations hertziennes dans l'espace. Ils servent en gros à la même chose que les tours hertziennes que l'on voit le long des autoroutes. Ces satellites reçoivent des signaux radio transmis depuis la Terre, les amplifient et les renvoient vers le sol. Leur altitude élevée leur permet de "voir" une grande partie de la Terre, ce qui constitue leur principal avantage dans le domaine des télécommunications: ils peuvent couvrir de vastes surfaces sur la planète.

Les systèmes de télécommunications par satellite sont formés de plusieurs éléments: un élément spatial, un centre de contrôle et des infrastructures au sol. L'élément spatial comprend les satellites, qui servent de relais dans l'espace pour acheminer un signal en provenance d'un terminal terrestre vers un point de destination, finale ou intermédiaire, à la surface de la Terre. Le centre de contrôle au sol est chargé de surveiller l'état et la situation de chaque satellite ainsi que de le maintenir à sa place. Les infrastructures permettent de contrôler tout ce qui relève du réseau dans le système de télécommunications, d'enregistrer la durée d'une communication à des fins de facturation et d'attribuer des canaux de communication aux divers usagers.

Table des matières

	<i>Page</i>
Préface	iii
Abréviations	v
Introduction	1
Création des centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales	1
Réunion d'experts des Nations Unies sur les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales: leur statut et leur évolution future	2
Programme du cours sur les télécommunications par satellite	3
Examen du programme d'études existant	3
Programme révisé du cours sur les télécommunication par satellite	4
 Annexes	
I. Programme des trois premiers cours	13
II. Ouvrages recommandés	24

Abréviations

AIR	All India Radio
APT	Asia Pacific Telecommunity
CEM	compatibilité électromagnétique
CISC	ordinateur à jeu complexe d'instructions
C/kT	densité de bruit porteuse-récepteur
DOS	système d'exploitation à disques
EIRP	puissance isotrope rayonnée équivalente
EMI	perturbation électromagnétique
ETSI	Institut européen des normes de télécommunications
FIR	filtre non récursif
FM	modulation de fréquence
GPS	système mondial de localisation
G/T	gain de l'antenne-température de bruit du système
IIR	filtre récursif
INSAT	Système national indien de satellites
IP	Internet protocol
ISO	Organisation internationale de normalisation
JDCC	Projet de télécommunications pour la développement de Jhabua
MPEG	Moving Picture Experts Group
NICNET	Réseau national de centres informatiques
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PTI	Press Trust of India
RFI	brouillage radioélectrique
RISC	ordinateur à jeu d'instructions réduit
RNIS	réseau numérique à intégration de services
SEM	service d'émissions multimédia
SFS	service fixe par satellite

SITE	expérience de télévision éducative par satellite
SMS	service mobile par satellite
SRS	service de radiodiffusion par satellite
TAP	Télécommunauté pour l'Asie et le Pacifique
TCP/IP	transmission control protocol/Internet protocol
TDCC	Voie de transmission pour la formation et le développement
TVHD	télévision haute définition
UIT	Union internationale des télécommunications
VSAT	microstation terrienne
TEB	taux d'erreur sur les bits

Introduction

Les sciences et techniques spatiales peuvent être enseignées dans les cycles élémentaire, secondaire et universitaire. Dans les pays ayant des activités spatiales, l'étude de ces disciplines figure au programme de sciences de chacun de ces cycles. Tel n'est pas le cas dans de nombreux pays en développement, d'une part du fait que l'on y sous-estime les avantages que l'on peut tirer des sciences et techniques spatiales, et de l'autre parce que l'on manque de matériel et de ressources pour enseigner ces disciplines dans les établissements scolaires et universitaires. Dans les pays développés, l'étude en est devenue extrêmement interactive et Internet comme d'autres technologies de l'information sont des outils désormais utilisés dans chaque cycle.

L'intégration des sciences et techniques spatiales dans les programmes scientifiques universitaires a une double fonction, tant dans les pays développés que dans les pays en développement. Elle permet à tous les pays de tirer parti des avantages inhérents aux nouvelles technologies qui, dans de nombreux cas, sont des retombées des sciences et techniques spatiales et elle contribue à revitaliser le système éducatif, à présenter de manière claire des concepts de haute technologie et à créer des capacités nationales dans le domaine des sciences et techniques en général. Comme l'a souligné Lewis Pyenson dans son récent ouvrage intitulé *Servants of Nature*¹, tant la décentralisation géographique que l'innovation interdisciplinaire sont devenus des maîtres mots dans les filières scientifiques universitaires. L'informatique dispense, dans une certaine mesure, les scientifiques et les chercheurs d'être physiquement présents dans les grandes universités. Partout, les établissements universitaires se sont adaptés aux nouvelles conditions socioéconomiques en élargissant leurs programmes d'études. Elles ont toujours réagi de la sorte, même si elles ne l'ont jamais fait assez rapidement au goût de ceux qui les critiquent. L'innovation mesurée et progressive fait partie des handicaps majeurs de l'université, mais elle est aussi une de ses grandes forces. Les nouveaux domaines de connaissance ne deviennent de nouvelles disciplines scientifiques qu'après avoir trouvé leur place dans les universités. Nous attendons de celles-ci qu'elles sanctionnent les dernières innovations. Les nouvelles idées scientifiques apparaissent dans des contextes divers, mais elles ne font partie du patrimoine commun de l'humanité qu'après avoir mûri au sein d'une institution d'enseignement supérieur telle que l'université moderne.

Si l'enseignement des sciences au niveau universitaire présente de nombreuses difficultés tant dans les pays en développement que dans les pays développés, la tâche des premiers est plus ardue. Le problème d'ordre général qui se pose dans ce domaine est le fait que les étudiants ne peuvent ni observer ni expérimenter les phénomènes qui leur sont enseignés, de sorte que, souvent, ils ne parviennent pas à acquérir les principes de base, ni à appréhender le rapport entre plusieurs concepts ou leur utilité pour résoudre des problèmes concrets. À ces difficultés s'ajoute une maîtrise insuffisante de certains domaines mathématiques ainsi que des stratégies d'analyse des problèmes. La langue d'enseignement pose également problème dans les pays où elle n'est pas la langue maternelle. Au fil des ans, les pays développés ont surmonté la plupart des problèmes fondamentaux, à l'exception peut-être de celui que pose, sur le plan psychologique, le fait que certains étudiants considèrent les sciences comme des disciplines difficiles. Dans les pays en développement, en revanche, les problèmes fondamentaux demeurent, exacerbés par le manque de professeurs dotés d'une solide formation universitaire et professionnelle.

Création des centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales

Par sa résolution 45/72 du 11 décembre 1990, l'Assemblée générale des Nations Unies faisait sienne la recommandation formulée par le groupe de travail plénier du Sous-Comité scientifique et technique et approuvée par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, selon laquelle l'ONU devait, avec le soutien actif des institutions spécialisées et des autres organisations internationales, animer un effort international de création de centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales dans le cadre des établissements nationaux ou régionaux existants dans les pays en développement (A/AC.105/456, annexe II, par. 4 n)).

¹ L. Pyenson et S. Sheets-Pyenson, *Servants of Nature: a History of Scientific Institution, Enterprises and Sensibilities* (New York, W. W. Norton and Company, 1999).

Au paragraphe 30 de sa résolution 50/27 du 6 décembre 1995, l'Assemblée approuvait la recommandation du Comité tendant à ce que ces centres soient mis en place dans les meilleurs délais sur la base de l'affiliation à l'ONU, affiliation qui leur donnerait la notoriété indispensable et leur permettrait d'attirer des donateurs et d'établir des relations scientifiques avec des institutions nationales et internationales dans le domaine de l'espace.

Des centres régionaux de ce type ont été établis en Inde (pour l'Asie et le Pacifique), au Maroc et au Nigéria (pour l'Afrique), au Brésil et au Mexique (pour l'Amérique latine et les Caraïbes), et en Jordanie (pour l'Asie occidentale), sous les auspices du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales, qui relève du Bureau des affaires spatiales (A/AC.105/749). Ils ont pour objectif de renforcer les capacités des États Membres, au niveau régional et international, dans différentes disciplines des sciences et techniques spatiales de sorte à dynamiser le développement scientifique, économique et social au plan national. Chacun de ces centres propose des programmes d'études de troisième cycle, de recherche et d'application destinés aux enseignants universitaires ainsi qu'aux chercheurs en recherche fondamentale et appliquée, l'accent étant mis sur la télédétection, les télécommunications par satellite, la météorologie satellitaire et les sciences spatiales. Tous proposent des programmes de troisième cycle, d'une durée de neuf mois, portant sur la télédétection, les télécommunications par satellite, les applications de la météorologie satellitaire et les sciences spatiales et sciences de l'atmosphère et qui se fondent sur les programmes d'études types établis à l'issue de la Réunion d'experts sur l'élaboration de programmes pour les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales, tenue à Grenade (Espagne) en 1995. Depuis 1995, ces programmes d'études sont présentés et discutés lors de réunions pédagogiques régionales et internationales (voir A/AC.105/649, ainsi que le site « <http://www.oosa.unvienna.org/SAP/centres/centres.htm> »).

La troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III), qui s'est tenue en juillet 1999 à l'Office des Nations Unies à Vienne, a recommandé que les centres régionaux collaborent avec d'autres organismes nationaux, régionaux et internationaux afin de consolider les différents volets de leurs programmes d'études². Par sa résolution 54/68 du 6 décembre 1999, l'Assemblée générale souscrivait à la résolution d'UNISPACE III intitulée "Le millénaire de l'espace: la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain", dans laquelle il était recommandé de prendre des mesures pour instituer des mécanismes de financement régulier des centres régionaux³.

Réunion d'experts des Nations Unies sur les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales: leur statut et leur évolution future

Le Bureau des affaires spatiales a organisé, en coopération avec l'Agence spatiale européenne (ESA), la Réunion d'experts des Nations Unies sur les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales: leur statut et leur évolution future, qui s'est tenue du 3 au 7 septembre 2001 à Frascati (Italie), à l'invitation de l'Institut européen de recherche spatiale de l'ESA qui y a son siège.

La Réunion a examiné la situation des centres régionaux (création et fonctionnement) en vue de resserrer les liens de coopération entre eux. Le principal objectif de la Réunion était d'examiner et d'actualiser les programmes d'enseignement universitaire au plan mondial dans les quatre disciplines suivantes: télédétection, météorologie satellitaire, télécommunications par satellite et sciences spatiales. La Réunion a constaté que l'enseignement variait considérablement entre pays, voire entre établissements d'un même pays, de sorte que les programmes étaient différents quant au fond et quant à leur agencement. Elle s'est donc félicitée que le programme d'études type (A/AC.105/649) ait contribué à régler ce problème.

² *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 9-30 juillet 1999* (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.00.I.3), chap. II, sect. G, par. 220.

³ *Ibid.*, chap. I, résolution 1, par. 1 e) ii). La Déclaration est accessible sur la page d'accueil du Bureau des affaires spatiales à l'adresse suivante: « <http://www.oosa.unvienna.org> ».

La Réunion a institué cinq groupes de travail chargés de réactualiser les programmes d'études dans les domaines suivants: a) problèmes de gestion des centres; b) télédétection; c) météorologie satellitaire; d) télécommunications par satellite; et e) sciences spatiales. Ces groupes ont tiré parti des connaissances et compétences des participants, et pris en compte les résultats des cours de troisième cycle déjà dispensés, en particulier ceux organisés depuis 1996 au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique et depuis 1998 au Centre régional africain des sciences et technologies de l'espace, en langue française, et au Centre régional africain de formation aux sciences et techniques spatiales, en langue anglaise.

La Réunion, par l'intermédiaire de ses groupes de travail, a actualisé les quatre programmes d'études dont le contenu diffère de la plupart de ceux que l'on trouve dans divers ouvrages et sur Internet. Ils se fondent sur la physique, les mathématiques et l'ingénierie tels qu'on les enseigne dans de nombreuses universités à travers le monde et ne sont pas conçus pour répondre aux besoins spécifiques d'un projet ou d'une mission précis exécuté ou prévu par un établissement particulier.

Programme du cours sur les télécommunications par satellite

Le présent chapitre rend compte des délibérations du groupe de travail sur les communications par satellite, qui a été créé par la Réunion d'experts de l'Organisation des Nations Unies sur les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales: situation actuelle et évolution future. Le groupe de travail a examiné le programme des cours qui avaient été dispensés au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique (annexe I) et a exposé dans leurs grandes lignes les domaines qui devraient être inscrits au programme d'études concernant les télécommunications par satellite.

Le groupe a estimé que chaque centre régional devait préciser les domaines étudiés dans le détail. L'enseignement et la recherche spécialisés devraient permettre à chaque centre régional d'aider les États membres qui participent à son fonctionnement d'acquérir des capacités accrues à créer et à transmettre des connaissances dans le domaine des télécommunications par satellite, l'objectif étant de renforcer les capacités des pays et des régions à mettre les techniques de télécommunications par satellite au service du développement durable.

Examen du programme d'études existant

Le groupe de travail a examiné le programme d'études des premier, deuxième et troisième cours de troisième cycle dispensés au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique (du 1^{er} janvier 1997 au 30 septembre 1998, du 1^{er} juillet 1999 au 31 mars 2000 et du 1^{er} août 2001 au 30 avril 2002, respectivement). La durée des cours était de 39 semaines, comprenant 35 semaines de cours théoriques, dont 10 réservées à l'élaboration d'un projet pilote, et quatre semaines consacrées à la visite de diverses stations de télécommunications par satellite. Au terme de ces cours, les participants ont mené des projets pilotes d'une durée d'une année dans leur pays d'origine.

Les modules des trois cours sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1
Modules du programme du cours sur les télécommunications par satellite

<i>Modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de semaines</i>
0	Généralités	1
1	Systèmes de télécommunication et traitement numérique du signal	5
2	Systèmes de télécommunications par satellite	6
3	Technologie des stations terrestres	3
4	Radiodiffusion par satellite	3
5	Applications et tendances des télécommunications par satellite	3
6	Systèmes opérationnels de télécommunications par satellite	1
7	Planification, gestion et exploitation des réseaux de télécommunications par satellite	1
8	Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation	2
9	Projet pilote	10
Durée totale		35

Huit cours d'une durée de 45 minutes chacun ont été dispensés chaque jour, cinq jours sur sept. Le détail des cours par module et par type de formation est présenté dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2
Détail du programme par module et par type de formation

<i>Type de formation</i>	<i>Module</i>								
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Cours théoriques	40	138	120	46	42	62	30	20	32
Travaux pratiques		54	48	28	48	28			20
Visites			24	24	12	16			24
Bibliothèque			24	12	8	4	10	20	4
Interrogations et examens		8	24	10	10	10			
Total	40	200	240	120	120	120	40	40	80

Note: Les chiffres indiquent le nombre de cours de 45 minutes.

Programme révisé du cours sur les télécommunications par satellite

Objectifs

Le programme vise à:

- a) Renforcer les compétences des professeurs d'université, des chercheurs, des spécialistes des télécommunications, des fonctionnaires et des autres personnes travaillant dans le domaine des télécommunications spatiales et celui de leurs applications à la radiodiffusion, aux télécommunications, aux soins de santé, à l'enseignement, aux interventions en cas de catastrophe, etc.;
- b) Contribuer à l'élaboration de projets de télécommunications spatiales, à la définition de l'action gouvernementale et à la mise en place de systèmes de télécommunications;
- c) Développer les compétences concernant l'utilisation de systèmes opérationnels et intégrer aux activités quotidiennes les progrès techniques réalisés dans le domaine des télécommunications;
- d) Contribuer à promouvoir, au sein d'une même région et entre les régions, la coopération dans l'utilisation des techniques de télécommunications et dans l'élargissement de leur portée;

e) Mieux faire connaître au public les retombées bénéfiques des télécommunications spatiales sur la qualité de la vie.

Structure du programme d'études

Les télécommunications spatiales constituent le moyen le plus performant de communiquer avec le monde entier et de rapprocher les pays au sein de ce que l'on appelle le "village planétaire". C'est dans ce contexte qu'il convient de placer le cours, qui est destiné à doter les participants venus de pays en développement des compétences qui leur permettront de prendre conscience de tout le potentiel de cette technologie.

Le cours sera divisé en 11 modules (y compris un module de présentation), dont chacun sera consacré à un domaine spécifique des télécommunications spatiales (théorie, technologie et applications). Il durera neuf mois, soit 35 semaines de cours et quatre semaines de visites de centres de télécommunications spatiales, et sera suivi d'une année consacrée aux travaux concernant un projet pilote dans le pays des participants. Les sujets traités par chaque module sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3
Modules du cours

<i>Modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de semaines</i>
0	Généralités	1
1	Systèmes de télécommunication et traitement numérique du signal	5
2	Systèmes de télécommunications par satellite	5
3	Technologie des stations terrestres	3
4	Transmission multiplexage et accès multiple	2
5	Radiodiffusion par satellite	2
6	Applications et tendances des télécommunications par satellite	3
7	Systèmes opérationnels de télécommunications par satellite	1
8	Planification, gestion et exploitation des réseaux de télécommunications par satellite	1
9	Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation	2
10	Projet pilote	10
Durée totale		35

Le programme comprendra 40 % de cours théoriques et 60 % de travaux pratiques.

Installations et matériel

Les installations et le matériel minimums requis sont les suivants:

Ordinateurs personnels multimédia performants

Logiciel MATLAB

Analyseur de spectre

Générateur de signaux

Analyseur de réseau

Milliwattmètre

Compteur de fréquence

Système de lignes de transmission de micro-ondes

Banc optique

Transpondeur ou simulateur satellite

Station terrestre avec fonctions d'émission et réception (par exemple, il faudrait au minimum une microstation terrestre)

Traducteur de boucle d'essai

Ensemble d'essais de TEB

Réception de télévision uniquement

Programme révisé

Module 0: Généralités

- 0.1 Introduction au cours
- 0.2 Le centre régional: activités et caractères spécifiques
- 0.3 La communication (orale, écrite, exposés, débats en groupe)
- 0.4 L'environnement local (langue, géographie, système social, etc.)

Module 1: Systèmes de télécommunications

1.1 Principes des télécommunications et de la mise en réseau

1.1.1 Cours théoriques

Les télécommunications: généralités

Principes de la théorie de l'information

Principes de la modulation et du codage

Les hyperfréquences: théorie et techniques

Télécommunications optiques

Principes des réseaux et des protocoles

1.1.2 Travaux en laboratoire

MATLAB: simulations et expérimentation du matériel

1.2 Traitement numérique du signal

1.2.1 Cours théoriques

Signaux et systèmes temporels discrets

Échantillonnage de signaux temporels continus

Transformée en Z

Transformée de Fourier discrète

Calcul de la transformée de Fourier discrète

Structure pour les systèmes temporels discrets

Techniques de conception des filtres

Exemples de sous-systèmes de télécommunications spatiales basés sur le traitement numérique du signal

1.2.2 Travaux pratiques et dirigés en laboratoire

Exercices sur MATLAB

Module 2: Systèmes de télécommunications spatiales

2.1 Cours théoriques

Introduction aux télécommunications spatiales

Orbites des satellites

Configurations de satellites

Lanceurs et lancement des satellites

Environnement spatial

Fiabilité

Sous-systèmes des plates-formes de satellites

Charge utile (avec et sans traitement à bord)

Liaisons de télécommunications spatiales

Bandes de fréquence pour les télécommunications spatiales

Perturbation électromagnétique (EMI), compatibilité électromagnétique (CEM), brouillage radioélectrique (RFI)

Perturbation des liaisons de télécommunications spatiales

2.2 Expérimentation et démonstration

Calculs des paramètres des liaisons y compris modèles de propagation réelle

Démonstration avec simulateur de satellite

Simulations d'orbite et d'empreinte

Module 3: Technologie des stations terrestres

3.1 Cours théoriques

Stations terrestres pour les télécommunications spatiales: généralités

Techniques appliquées aux sous-systèmes de stations terriennes

Éléments à prendre en compte dans la conception et la fabrication d'une station terrestre

Normes applicables aux stations terrestres

Vérification des stations terrestres

Fiabilité des stations terrestres

Exploitation et maintenance

3.2 Expérimentation et démonstration

Sur terminal émetteur-récepteur

Module 4: Transmission, multiplexage et accès multiple

4.1 Cours théorique

Techniques de modulation analogique et numérique

Codage de l'autocorrection des erreurs

Multiplexage/démultiplexage

Techniques d'étalement du spectre

Techniques d'accès multiple

4.2 Expérimentation en laboratoire

Simulations sur MATLAB

Expérimentation de matériel

Module 5: Radiodiffusion par satellite

5.1 Cours théoriques

Normes des systèmes analogiques et numériques de radiodiffusion

Télévision numérique

Télévision par satellite et systèmes d'accès

Diffusion audio/vidéo sur Internet

Applications diverses, telles que:

Reportages d'actualités par satellite

Réseaux de radiodiffusion

Radiodiffusion audionumérique

Fourgonnette de régie

Studio de télévision et son exploitation

Couverture télé des manifestations sportives

Multidiffusion

Visioconférences par satellite

Multimédia (exposés vidéo)

Vidéo à la demande

5.2 Expérimentation et démonstration en laboratoire

Expériences pratiques sur terminaux de télévision et d'Internet

Module 6: Applications et tendances des télécommunications par satellite

6.1 Cours théoriques

Services de télécommunications par satellite

Quelques applications des télécommunications spatiales:

Réseaux VSAT

Système de réception des données météorologiques

Système de diffusion de l'information journalistique et des données météorologiques

Système de collecte des données

Gestion des catastrophes par télécommunications par satellite

Système de recherche et de sauvetage:

Au plan international

Au plan régional

Système de diffusion des alertes

Télé médecine

Système d'émission de signaux horaires

Services de communications mobiles et personnelles

Systèmes stratégiques de télécommunications par satellite

Système de navigation par satellite

Système Internet par satellite

Système multimédia satellitaire à large bande

6.2 Expérimentation et démonstration en laboratoire

Quelques expérimentations du matériel sur les installations et l'équipement de l'utilisateur final existants et démonstrations des systèmes

Module 7: Systèmes opérationnels de télécommunications par satellite

7.1 Cours théoriques

Systèmes opérationnels de télécommunications par satellite

Service fixe par satellite (SFS)

Service mobile par satellite (SMS)

Service de radiodiffusion par satellite (SRS)

Service d'émissions multimédia (SEM)

Quelques systèmes opérationnels de communications par satellite

Union internationale des télécommunications (UIT) et autres organisations de normalisation (Organisation internationale de normalisation (ISO), Télécommunauté pour l'Asie et le Pacifique (TAP), Institut européen des normes de télécommunications (ETSI))

Réglementations internationales

Module 8: Planification, gestion et exploitation des réseaux de télécommunications par satellite

8.1 Cours théoriques

Planification des réseaux: considérations techniques

Planification de l'élément spatial

Planification de l'élément terrestre

Exploitation et surveillance des réseaux

Gestion de l'exploitation des satellites de télécommunications

Coordination des interférences intra/intersystèmes

Droit de l'espace

Aspects financiers de la télécommunication spatiale

Module 9: Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation

9.1 Cours théoriques

Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation: généralités

Expérience régionale acquise dans les domaines suivants:

Le matériel

Le logiciel

La recherche sociale

Radiodiffusion locale (télévision, radio, réseau câblé)

Planification des télécommunications par satellite pour le développement

Technologie satellitaire pour le développement, l'enseignement et la formation

Problèmes opérationnels, technologiques et juridiques touchant les chaînes transfrontières pour le développement

Données d'expérience des usagers de visioconférences pour le développement rural

Gestion des catastrophes

9.2 Démonstration avec les systèmes en place

Module 10: Projet pilote

Définition du projet

Besoins du pays du participant

Thème intéressant le participant

Travaux conduisant au projet d'une durée d'une année

Quelques thèmes de projet

Sous-systèmes des stations terriennes

Analyse des systèmes pour les satellites de télécommunications

Conception des vaisseaux spatiaux

Conception d'empreintes d'antennes

Conception des systèmes de télécommunications

Planification des réseaux et mise au point des logiciels pertinents

Applications de la télévision et de la radio aux communications pour le développement

Aspect économiques des télécommunications spatiales

Définition d'un système national

Recherches sur la politique en matière de satellites de télécommunications

Annexe I

Programme des trois premiers cours

Programme du cours sur les télécommunications par satellite

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
0	Généralités (1 semaine)	
0.1	Présentation du centre régional	2
0.2	Présentation des activités du centre de formation local	2
0.3	Communication (orale, écrite, exposés, débats en groupe, etc.)	24
0.4	Présentation du pays d'accueil	6
	Géographie	
	Systèmes sociaux et coutumes	
	Fêtes du pays d'accueil	
0.5	Langue locale: expressions courantes	6
	Total	40
1	Systèmes de télécommunications et traitement numérique du signal	
1.1	Cours théoriques: systèmes de télécommunication (3 semaines)	
	Télécommunications: généralités	
	Distribution, trafic, signalisation, commutation	6
	Systèmes de télécommunications analogiques et numériques	2
	Télécommunications à longue distance	1
	Technologie et applications de la technologie des fibres optiques	4
	Réseaux de données	10
	Signalisation et modulation	
	Réseau local	
	Schémas de connexion	
	Services de données dans les réseaux publics	
	Présentation du protocole de contrôle de transmission/protocole Internet (TCP/IP)	
	Internet	
	Mode de transfert asynchrone (ATM)	
	Services de télécommunications personnels	4
	Réseau numérique à intégration de services (RNIS)	3
	Notions fondamentales sur la commutation de paquets	3
	Large bande: généralités	3
	Protocoles	3
	Théorie et techniques des micro-ondes	6
	Paramètres des lignes de transmission (Z, ABCD, S)	
	Guide d'ondes et éléments coaxiaux	
	Applications de la technologie des micro-ondes	
	Introduction à l'informatique	6
	Architecture des ordinateurs	
	Ordinateurs à jeu complexe d'instructions (CISC)	
	Ordinateurs à jeu d'instructions réduit (RISC)	
	Processeur parallèle	
	Périphériques d'entrée/sortie	
	Programmation entrée/sortie	
	Contrôle entrée/sortie	
	Interruption	
	Accès direct à la mémoire	
	Systèmes d'exploitation	
	Systèmes d'exploitation standard	

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	<ul style="list-style-type: none"> Systèmes d'exploitation à disques UNIX et Linux Windows 95 NT 	
	Théorie de la communication et outils mathématiques	
	Théorie des probabilités et éléments de statistique	10
	Théorie de l'information	6
	Géométrie sphérique	1
	Algèbre linéaire	4
	Outils mathématiques MATLAB	8
	Total partiel	80
1.2	Travaux de laboratoire	
	Informatique	4
	MATLAB	8
	Mesures de micro-ondes	8
	Modems analogiques et numériques	4
	Fibres optiques	8
	Total partiel	32
1.3	Cours théoriques: traitement numérique du signal (2 semaines)	
	Signaux et systèmes temporels discrets	
	Signaux temporels discrets: séquences	
	Systèmes temporels discrets	
	Systèmes linéaires et invariants dans le temps	
	Représentation de l'échantillonnage pour le domaine fréquentiel	
	Signaux et systèmes temporels discrets	
	Représentation de séquences par la transformée de Fourier	
	Théorèmes relatifs à la transformée de Fourier	
	Signaux aléatoires temporels discrets	
	Échantillonnage de signaux temporels continus	6
	Échantillonnage périodique	
	Représentation de l'échantillonnage pour les domaines fréquentiels	
	Représentation d'un signal à bande limitée à partir de ses échantillons	
	Traitement temporel discret de signaux temporels continus	
	Traitement en temps continu de signaux discrets	
	Modification du taux d'échantillonnage à l'aide d'un traitement en temps discret	
	Considérations pratiques	
	Transformée en Z	10
	Propriétés de la région de convergence pour la transformée en Z	
	Transformée en Z inverse	
	Propriété des transformées en Z	
	Transformée en Z inverse à l'aide d'intégration de contour	
	Théorème des convolutions complexes	
	Relation de Parseval	
	Transformée en Z unilatérale	
	Transformée de Fourier discrète	6
	Représentation de séquences périodiques	
	Séries de Fourier discrètes	
	Propriétés des séries de Fourier discrètes	
	Transformée de Fourier des signaux périodiques	
	Échantillonnage de la transformée de Fourier	

<i>Modules ou sous- modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Représentation de Fourier de séquences de durée finie Transformée de Fourier discrète Convolution linéaire à l'aide de la transformée de Fourier discrète	
	Calcul de la transformée de Fourier discrète	8
	Calcul efficient de transformées de Fourier discrètes Algorithme de Goertzel Algorithmes de transformée de Fourier rapide pour la décimation temporelle Algorithmes de transformée de Fourier rapide pour la décimation fréquentielle Exécution d'algorithmes de transformée de Fourier rapide Algorithmes de transformée de Fourier rapide pour un nombre composé n Exécution de la transformée de Fourier discrète au moyen de la convolution Effets de la longueur de registre finie dans les calculs de la transformée de Fourier discrète	
	Structure pour les systèmes temporels discrets	6
	Représentation au moyen d'un schéma fonctionnel d'une équation différentielle linéaire à coefficient constant Structure de base pour les systèmes de filtres récursifs (IIR) Structures de réseau de base pour les systèmes de filtres non récursifs (FIR) Vue d'ensemble des effets numériques de précision finie Effets de la quantification de coefficients Effets d'erreurs d'arrondi dans les filtres numériques Cycles à entrée zéro dans les réalisations en virgule fixe des filtres numériques récursifs	
	Techniques de conception de filtres	12
	Questions fondamentales posées par la conception des filtres numériques Conception des filtres récursifs Transformation de fréquence des filtres récursifs passe-bas Conception de filtres en fenêtrage Approximation optimale des filtres non récursifs Approximation de l'équi-ondulation pour les filtres non récursifs	
	Transformation d'ondelettes	2
	Exemples de sous-systèmes reposant sur un protocole de système d'annuaire pour les télécommunications par satellite	4
	Total partiel	58
1.4	Exercices et séances d'explications en laboratoire	
	Exercices reposant sur MATLAB	10
	Conception de filtres FIR et IIR Exécution de transformées de Fourier discrètes et de transformées de Fourier rapide Exemples de sous-systèmes de télécommunication reposant sur un protocole de système d'annuaire	
	Familiarisation avec une carte d'évaluation	12
	Filtres FIR et IIR Algorithme de démodulateur Codage Viterbi	

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Transformée de Fourier rapide et transformée de cosinus discrète	
	Total partiel	22
	Total ^a	192
2	Systèmes de télécommunications par satellite	
2.1	Cours théoriques	
	Introduction aux télécommunications par satellite	
	Évolution des télécommunications par satellite	4
	Principes de base des télécommunications par satellite	
	Types d'orbite de satellite	
	Télécommunications par satellite géosynchrone	
	Services de télécommunications par satellite	
	Orbites de satellite	4
	Lanceurs et lancement de satellites	4
	Liaisons de télécommunications par satellite	4
	Bandes de fréquence pour les télécommunications par satellite	2
	Effets de propagation sur les liaisons de télécommunications par satellite	2
	Techniques de télécommunications par satellite	28
	Techniques de multiplexage	4
	Techniques de modulation	6
	Techniques d'accès multiple	6
	Accès multiple par répartition en code	2
	Théorie de codification et techniques de correction des erreurs	4
	IP via satellite	4
	Configurations de satellites	2
	Environnement spatial	2
	Sous-système de bus satellitaires	12
	Structure mécanique	2
	Système de contrôle de l'attitude et de l'orbite	2
	Sous-système de propulsion	2
	Sous-système d'alimentation en énergie électrique	2
	Téléométrie, poursuite et commande	2
	Sous-système thermique	2
	Transpondeur de télécommunications	2
	Sous-systèmes de transpondeur de télécommunications	6
	Antenne et source	2
	Récepteur et émetteur	2
	Multiplexeur entrée-sortie	2
	Traitement embarqué par transpondeur de télécommunications avancé	4
	Intégration et essai des transpondeurs de télécommunications	2
	Intégration et essai des satellites	2
	Vérification en orbite des charges utiles de télécommunications	2
	Fiabilité et qualifications spatiales	2
	Fiabilité des charges utiles de télécommunications par satellite	2
	Interférences électromagnétiques, compatibilité électromagnétique, interférences de fréquences radio	2
	Risques liés aux décharges électrostatiques dans le matériel électronique utilisé pour les télécommunications par satellite	2
	Vie d'un satellite	2

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Télécommunications par satellite (enseignement assisté par ordinateur et séances d'explication)	28
	Total partiel	120
2.2	Expériences et démonstrations	
	Familiarisation avec les instruments de mesure	4
	Détermination des positions angulaires des satellites et optimisation des antennes des stations terrestres	4
	Azimut et angles d'élévation	
	Angles X-Y	
	Optimisation du sens de polarisation	
	Mesure des paramètres de liaison satellitaire	8
	C/kT totale et C/kT dans la liaison descendante	
	Rapport gain de l'antenne-température de bruit du système et puissance isotrope rayonnée équivalente (EIRP)	
	Taux d'erreur sur les bits par rapport à la C/kT	
	Familiarisation avec les caractéristiques des transpondeurs de satellites et mesure de ces dernières (simulateur de télécommunications)	4
	Familiarisation avec le matériel de porteuse monovoie, l'accès multiple par répartition sur spectre et l'accès multiple à répartition dans le temps, et utilisation de ce matériel	12
	Essai des sous-systèmes de transpondeur de télécommunications	16
	Multiplexeur	
	Récepteur	
	Amplificateur de puissance	
	Antenne et source	
	Total partiel	48
2.3	Visites de laboratoires et d'autres installations du centre de formation	24
	Laboratoires de recherche et développement sur les charges utiles de télécommunications	
	Laboratoires spécialisés dans les techniques de télécommunications	
	Établissement de fabrication de charges utiles	
	Centre d'essais environnementaux	
	Laboratoires spécialisés dans les systèmes de télécommunications	
	Laboratoires de télédétection	
	Total partiel	24
	Total ^a	192
3	Technologie des stations terrestres (3 semaines)	
3.1	Cours théoriques	
	Station terrestre de télécommunications par satellite: vue d'ensemble	2
	Technologie des sous-systèmes des stations terrestres	22
	Réflecteur et monture d'antenne pour les stations terrestres grandes, moyennes et petites	
	Système d'alimentation pour stations terrestres grandes, moyennes et petites	
	Systèmes de poursuite d'antenne	
	Amplificateur à faible bruit	
	Amplificateur de puissance à semi-conducteurs	
	Amplificateur haute puissance	
	Convertisseur de fréquence	
	Modulateur et démodulateur	
	Codeur et décodeur	
	Traducteur de boucle d'essai	

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Système d'alimentation électrique	
	Liaisons aller et retour	
	Considérations relatives à la conception des stations terrestres	5
	Normes applicables aux stations terrestres	
	EIRP et G/T	
	Taille de l'antenne et gain	
	Caractéristiques des rayonnements et couverture de l'antenne	
	Redondance et fiabilité	
	Spécifications environnementales	
	Terminaux VSAT, mobiles, en mallette et de poche	
	Vérification des stations terrestres	8
	Mesures d'antenne (champ lointain, champ proche, chambre anéchoïque)	
	Amplificateur à faible bruit et G/T	
	Amplificateur haute puissance et EIRP	
	Convertisseur de fréquence	
	Traducteur de boucle d'essai	
	Fiabilité des stations terrestres	1
	Exploitation et entretien de stations terrestres fixes et mobiles	2
	Techniques de fabrication	6
	Techniques de fabrication mécanique	
	Techniques de fabrication électronique	
	Circuits intégrés micro-ondes	
	Total partiel	46
3.2	Visites locales	24
	Station terrestre du Ministère des télécommunications	
	Parc de technologie du logiciel du Ministère de l'électronique	
	Centre d'essai des antennes (centre de formation)	
	Circuit intégré hyperfréquence (centre de formation)	
	Établissement de fabrication de matériels électroniques (centre de formation)	
	Établissement de fabrication de pièces mécaniques (centre de formation)	
	Total partiel	24
3.3	Expériences et démonstrations	
	Familiarisation avec les sous-systèmes de station terrestre	4
	Essai de sous-systèmes de station terrestre	24
	Essai du système d'alimentation	
	Essai de l'amplificateur haute puissance	
	Essai de l'amplificateur à faible bruit	
	Essai du convertisseur de fréquence	
	Essai du système de poursuite de l'antenne (modes manuel et automatique)	
	Total partiel	28
	Total ^a	98
4	Radiodiffusion par satellite (3 semaines)	
4.1	Cours théoriques	
	Normes des systèmes de radiodiffusion	6
	Télévision à modulation de fréquence	
	Télévision haute définition	
	Radiodiffusion vidéo numérique	
	Moving Picture Experts Group (MPEG)	

<i>Modules ou sous- modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Télévision numérique (exposé vidéo)	6
	Liaisons satellitaires pour la diffusion d'images télévisées (modes analogique et numérique)	2
	Bandes de fréquence pour la radiodiffusion par satellite et réglementations nationales et internationales	2
	Télévision par satellite et systèmes d'accès	6
	Télévision câblée	
	Satellite de radiodiffusion directe	
	Accès conditionnel	
	Gestion de réseaux	
	Recueil d'informations à l'aide du satellite pour la radio et la télévision	2
	Réseaux radio	2
	Radio numérique	2
	Fourgonnette de régie	2
	Studio de télévision et son fonctionnement	2
	Couverture télévisuelle de manifestations sportives	2
	Multiplexage de programmes	2
	Visioconférence par satellite	2
	Multimédia (exposé vidéo)	2
	Vidéo à la demande	2
	Total partiel	42
4.2	Expériences et démonstrations en laboratoire	48
	Familiarisation avec les systèmes de bandes de base vidéo	
	Mesure du rapport signal vidéo-bruit comparé au rapport porteuse-bruit et au seuil vidéo	
	Mesure du rapport signal audio-bruit pour la télévision	
	Mesure du rapport signal-bruit comparé à la déviation FM	
	Mesure des paramètres des signaux de télévision à l'aide d'un moniteur de forme d'onde, d'un oscilloscope vectoriel et d'un appareil d'essai automatisé	
	Télévision numérique par voie unique par porteuse et par voies multiples par porteuse	
	Détermination des points de fonctionnement d'un transpondeur pour:	
	Une porteuse unique par transpondeur	
	Des porteuses multiples par transpondeur	
	Familiarisation avec les terminaux de réseau radio	
	Démonstration du fonctionnement des terminaux de collecte d'informations par satellite	
	Mise en place d'un système de réception directe de télévision	
	Système de diffusion de son numérique et de données	
	Diffusion multimédia et multiplexage de programmes	
	Total partiel	48
4.3	Visites locales	12
	Station de télévision de Doordarshan	
	Système de réseau radio de All India Radio (AIR)	
	Studio de télévision du Service de télécommunications pour le développement et l'enseignement	
	Total partiel	12
	Total ^a	102
5	Applications et tendances des télécommunications par satellite (3 semaines)	
5.1	Cours théoriques	
	Services de télécommunications par satellite	26

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Télécommunications dans les zones rurales et éloignées des grands centres	2
	Réseau VSAT	8
	Multiplexage à répartition dans le temps et accès multiple à répartition dans le temps	
	Voie unique par porteuse-access multiple par assignation en fonction de la demande	
	Terminaux distants	
	Concentrateur	
	Gestion d'un réseau	
	Systèmes de réception de données météorologiques (Administration nationale océanographique et atmosphérique, Système indien de satellites (INSAT))	2
	Système de diffusion d'informations d'actualité et de données météorologiques	2
	Système de collecte de données	2
	Intervention en cas de catastrophe à l'aide des télécommunications par satellite	2
	Système de recherche et de sauvetage	2
	International	
	Régional (INSAT)	
	Système d'alerte en cas de cyclone	2
	Télé médecine	2
	Système de transmission du temps et de la fréquence	2
	Services de télécommunications mobiles et personnels (IMT-2000, 4G, etc.)	8
	Systèmes de télécommunications stratégiques par satellite	4
	Système de navigation par satellite	6
	Système Internet par satellite	2
	Système satellitaire multimédia à large bande	2
	Formation assistée par ordinateur et séances d'explications	14
	Total partiel	62
5.2	Expériences et démonstrations de laboratoires	
	Réception de données à l'aide du radiomètre de très haute résolution de la NOAA	
	Système de diffusion d'informations d'actualité et de données météorologiques	
	Balise de recherche et de sauvetage	
	Utilisation d'un récepteur GPS (Système mondial de localisation) et système de communication d'informations INSAT	
	Terminal et réseau VSAT	
	Système de diffusion de données et de sons	
	Total partiel	28
5.3	Visites locales	
	Press Trust of India	
	Département mobile de l'Inde	
	Aéroport	
	Réseau du Centre national d'informatique	
	Total partiel	16
	Total ^a	106

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
6	Systèmes opérationnels de satellites de télécommunications (1 semaine)	
6.1	Cours théoriques	
	Vue d'ensemble sur les systèmes opérationnels de satellites de télécommunications	8
	Service de satellite fixe	
	Service de satellite mobile	
	Service de satellite de radiodiffusion	
	Système multimédia à large bande	
	Systèmes opérationnels de satellites de télécommunications	18
	Union internationale des télécommunications et autres organismes de normalisation (ISO, TAP, ETSI)	2
	Réglementations internationales	2
	Total ^a	30
7.	Planification, gestion et exploitation des réseaux de télécommunications par satellite (1 semaine)	
7.1	Cours théoriques	
	Considérations théoriques relatives à la planification du réseau	2
	Planification de l'élément spatial	2
	Besoins relatifs au trafic	
	Options relatives au transpondeur du satellite (couverture, puissance, largeur de bande, transmission de point à point via satellite, processus régénérables)	
	Isolation par couplage de polarisation et satellites colocalisés	
	Choix d'orbites (terrestre géosynchrone, terrestre moyenne, terrestre basse)	
	Planification de l'élément terrestre	2
	Arbitrage entre l'élément spatial et l'élément terrestre	
	Puissance de l'amplificateur haute puissance et taille de l'antenne de transmission	
	Rayonnements en dehors de l'axe du faisceau	
	Température et réception du bruit avec amplificateur à faible bruit	
	Taille de l'antenne	
	Coût	
	Exploitation et commande du réseau	2
	Gestion de l'exploitation des satellites de télécommunications	4
	Exploitation normale	
	Exploitation d'une station terrestre de contrôle de satellites (télécommande, télémétrie et poursuite)	
	Détermination de l'orbite, maintien en position et gestion du combustible	
	Fonctionnement en l'absence de lumière solaire et en cas d'éclipse	
	Déblocage	
	Coordination des interférences intrasystème et intersystèmes	4
	Droit de l'espace	2
	Aspects financiers des télécommunications par satellite	2
	Total ^a	20
8.	Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation (2 semaines)	
8.1	Cours théoriques	
	Télécommunications par satellite pour le développement, l'enseignement et la formation: vue d'ensemble	4
	Expérience acquise par l'Inde dans le cadre du Projet de télévision éducative par satellite	

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	(SITE), du Projet de télécommunications Kneda (KCP), de la Voie de transmission pour la formation et le développement (TDCC), du Projet de télécommunications pour le développement de Jhabua (JDCP) et de la Commission des subventions universitaires	6
	Matériel	
	Logiciel	
	Recherche sociale	
	Radiodiffusion locale (télévision, radio, réseau câblé)	2
	Planification en matière de télécommunications par satellite pour le développement	4
	Recherche et évaluation	
	Production d'émissions pour les télécommunications en faveur du développement	
	Matériel	
	Coût	
	Technologie des satellites pour le développement, l'enseignement et la formation	8
	Système de réception	
	Système de transmission	
	Système de réponse	
	Contrôle d'accès multiples par assignation en fonction de la demande	
	Services à valeur ajoutée	
	Retour vidéo	
	Diffusion de données	
	Diffusion Internet	
	Diffusion multimédia	
	Visioconférence	
	Questions opérationnelles, technologiques et juridiques soulevées par les chaînes transfrontalières pour le développement	2
	Expérience des utilisateurs de la téléconférence pour le développement rural	4
	Intervention en cas de catastrophe	2
	Total partiel	32
8.2	Démonstrations	20
	Démonstration des systèmes de réponse (JDCP et TDCC)	
	Système de réception directe (analogique et numérique)	
	Visioconférence bidirectionnelle (Spacenet)	
8.3	Visites sur le terrain	24
	Total ^a	76
9	Projet pilote (10 semaines)	
	Définition du projet	
	Besoins du pays du participant	
	Thème intéressant le participant	
	Travaux débouchant sur un projet d'une durée d'un an	
	Thèmes proposés pour le projet	
	Sous-systèmes des stations terrestres	
	Analyse des systèmes pour les satellites de télécommunications	
	Conception des vaisseaux spatiaux	
	Conception des empreintes d'antennes	
	Conception des systèmes de télécommunications	
	Planification des réseaux et développement des logiciels appropriés	

<i>Modules ou sous- modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre de cours de 45 minutes</i>
	Utilisation de la télévision et de la radio pour les télécommunications en faveur du développement Aspects économiques des télécommunications par satellite Définition du système national Recherche sur la politique en matière de satellites de télécommunications	

^a Les totaux n'incluent pas les interrogations et les examens ni les travaux en bibliothèque (voir également chap. II.A, tableau 2).

Annexe II

Ouvrages recommandés

Elbert, B. Introduction to satellite communications, 2. ed. Boston, Artech House Publishers, 1999.

Feher, K. Wireless digital communications: modulation and spread spectrum applications. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 1995.

Ha, T. T. Digital satellite communications, 2. ed. New York, McGraw Hill, 1990.

Haykin, S. S. Communications systems. New York, John Wiley, 1978.

Hodge, W. W., Interactive television. New York, McGraw Hill, 1995.

Killen, H. B. Digital communications with fiber optics and satellite applications. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1988.

Lewis, G. E. Communication service via satellite. Oxford, Oxford BSP Professional Books, 1988.

Luise, M. et S. Pupolin. Broadband wireless communications. Berlin et New York, Springer-Verlag, 1998.

Manolakis, P. Digital signal processing. 2. ed. New Delhi, Prentice Hall, 1996.

Martin, J. Communication satellite system. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1978.

Mitra, S. K. Digital signal processing: a computer-based approach. New Delhi, Tata-McGraw Hill, 1998.

Nejat Ince, A. Digital satellite communications systems and technologies: military and civil applications. Boston, Kluwer Academic Publishing, 1992.

Pattan, B. Satellite systems: principles and technologies. New York, Van Nostrand Reinhold, 1993.

Pocha, J. J. An introduction to mission design for GEO satellites. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1987.

Pratt, T. et C. W. Bostian. Satellite communications. New York, John Wiley and Sons, 1986.

Richharia, M. Satellite communications systems: design principles. New York, MacMillan Publishers, 1995.

Roddy, D. Satellite communications. 2. ed. New Delhi, McGraw Hill International, 1996.

Schramm, W. et D. F. Roberts, eds. The process and effects of mass communication. Urbana, University of Illinois Press, 1971.

Senior, J. M. Optical fiber communications. 2. ed. New Delhi, Prentice Hall, 1992.