



Assemblée générale

Distr.: limitée
14 mars 2002

Français
Original: anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales (affiliés à l'Organisation des Nations Unies)

Programme d'études sur la météorologie par satellite et le climat mondial

Table des matières

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
I. Introduction	1-5	2
II. Délibérations du groupe de travail sur la météorologie par satellite et le climat mondial	6-35	3
A. Objectif des cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial.	8-12	3
B. Examen du programme d'enseignement existant et de l'expérience acquise.	13-26	5
C. Programme d'études révisé pour le cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial	27-35	8
 Annexes		
I. Curriculum for the first three courses		14
A. Modules		14
B. Practical exercises		18
C. Pilot projects		20
II. Recommended teaching material		24
III. Explanatory notes for the curriculum		25



I. Introduction

1. L'homme a sans doute toujours été fasciné par le temps, ne serait-ce que pour des raisons pratiques. Si les phénomènes météorologiques étaient un objet majeur de spéculation dans les ouvrages philosophiques de l'antiquité, on fait généralement remonter les débuts de l'étude scientifique du temps à l'invention du thermomètre et du baromètre, au XVII^e siècle. Au XVIII^e siècle, on relève quelques tentatives sporadiques d'établir des cartes du temps à partir d'observations de surface. L'invention du télégraphe au XIX^e siècle a donné la possibilité de produire et de diffuser en temps réel des prévisions fondées sur des données couvrant une large surface géographique. Des réseaux d'observation financés par l'État sont apparus dans plusieurs pays au milieu et à la fin du XIX^e siècle. Les connaissances fondamentales en dynamique et en thermodynamique des fluides ont également beaucoup progressé au cours de ce siècle, ce qui a permis d'asseoir l'étude de l'atmosphère sur une base solide en tant que problème de physique appliquée. Au cours des dernières décennies, les études de l'atmosphère, tant observationnelles que théoriques, ont progressé de manière spectaculaire. Ces progrès ont été grandement facilités par la possibilité de placer des systèmes d'observation de l'atmosphère sur des plates-formes satellitaires et par la mise au point d'ordinateurs numériques capables de traiter les équations non linéaires applicables.

2. Historiquement, l'étude de l'atmosphère a été divisée en deux disciplines, la climatologie, que l'on peut définir comme l'étude des processus qui déterminent l'état moyen de l'atmosphère sur une période relativement longue (une année, voire plusieurs), et la météorologie, qui traite des aspects physiques des phénomènes liés à la variabilité atmosphérique qui se produisent plus fréquemment. Il apparaît de plus en plus nettement que cette distinction est assez arbitraire sans être particulièrement utile. La circulation atmosphérique est variable quelle que soit l'échelle de temps, et il existe des interactions importantes entre les divers phénomènes.

3. À l'origine de nombre de travaux récents sur la surveillance et la modélisation des phénomènes atmosphériques se trouve la prise de conscience que l'homme peut modifier considérablement (fût-ce involontairement) le climat mondial. L'augmentation dans l'atmosphère de la concentration des gaz à effet de serre tels que le CO₂, émis par les activités industrielles et agricoles, a, en particulier, suscité des inquiétudes. Il serait extrêmement utile de disposer de prévisions fiables sur la sensibilité du climat à ces influences anthropogéniques pour formuler des stratégies permettant d'atténuer les répercussions socioéconomiques des changements de l'environnement mondial.

4. La connaissance approfondie qu'on a aujourd'hui de la circulation atmosphérique et de ses variations résulte pour une bonne part de l'analyse des mesures systématiques effectuées chaque jour en vue de l'établissement de prévisions météorologiques. Ces données comprennent notamment des mesures de la vitesse et de la direction du vent, de la pression barométrique, des précipitations, de la température de l'air et de l'hygrométrie, effectuées toutes les trois heures par plusieurs milliers de stations de surface et à bord de navires marchands, dans le monde entier. Les mesures effectuées par des radiosondes placées sur des ballons non habités constituent un autre élément important des données archivées. Ces

radiosondes sont des ensembles d'instruments qui transmettent, à des intervalles définis, des mesures de la pression, de la température et de l'hygrométrie pendant la montée du ballon. En suivant le ballon du regard ou au radar, on peut également déterminer la vitesse et la direction du vent horizontal en fonction de l'altitude. Des lâchers de radiosondes ont en général lieu une ou deux fois par jour dans plusieurs centaines de stations partout dans le monde. Les mesures par ballons s'effectuent en principe à des altitudes inférieures à 30 kilomètres.

5. Les mesures par ballons sont essentielles pour étudier la structure tridimensionnelle de la circulation atmosphérique, mais leur couverture géographique est évidemment limitée (en particulier au-dessus des océans). Les lacunes dans la couverture des stations peuvent, dans une certaine mesure, être comblées par les satellites météorologiques. Les satellites géostationnaires fournissent des observations relativement continues de la couverture nuageuse au-dessus des tropiques et des latitudes moyennes. Des radiomètres placés à bord de satellites en orbite polaire relativement basse mesurent le rayonnement sortant de l'atmosphère. Effectuer ces mesures à plusieurs longueurs d'ondes permet d'obtenir des données sur la structure verticale de la température et de l'hygrométrie. Comme ces satellites fournissent des informations sur une trajectoire héliosynchrone, ils assurent une couverture complète environ deux fois par jour.

II. Délibérations du groupe de travail sur la météorologie par satellite et le climat mondial

6. Le Bureau des affaires spatiales, en coopération avec l'Agence spatiale européenne, a organisé à Frascati (Italie), du 3 au 7 septembre 2001, 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. Un des principaux objectifs de cette réunion était d'examiner et d'actualiser les programmes des centres régionaux dans les quatre disciplines suivantes: télédétection, météorologie par satellite, communications par satellite et sciences spatiales.

7. Le présent rapport rend compte des délibérations du groupe de travail sur la météorologie par satellite et le climat mondial. Le groupe de travail a débattu de l'objectif des cours dans ce domaine, examiné le programme existant et l'expérience acquise grâce aux cours déjà dispensés dans les centres régionaux (annexe I) et défini les objectifs, les besoins, la structure et le programme révisé des nouveaux cours.

A. Objectif des cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial

8. Les cours sur les applications de la météorologie par satellite constituent un volet spécifique de la formation aux sciences et techniques spatiales. Ils sont importants car si les satellites météorologiques fonctionnent depuis plus de 30 ans, la plupart des chercheurs, des professionnels et des enseignants ignorent encore que les observations réalisées par ces satellites peuvent être consultées librement et être utilisées, directement ou en combinaison avec d'autres informations, au profit de

vastes segments de la population. Ces observations peuvent également aider à résoudre certains problèmes touchant ces groupes de population, en particulier lorsqu'il s'agit de sauver des vies, de protéger des biens ou de gérer les ressources naturelles de manière rationnelle.

9. De nombreuses agences météorologiques nationales ont réalisé qu'il était important de dispenser des cours de météorologie par satellite pour répondre à leurs besoins opérationnels. Leurs cours de formation ordinaires comprennent un petit segment "météorologie par satellite", principalement consacré à l'étude synoptique du système météorologique à l'aide d'images.

10. Les questions relatives au réchauffement de la planète, à l'appauvrissement de la couche d'ozone, au phénomène El Niño/oscillation australe, à l'interaction océan-atmosphère et au changement du climat mondial, qui naguère n'intéressaient que les scientifiques, sont aujourd'hui au cœur de l'actualité. Les cours, qui comprennent une initiation à la météorologie par satellite et traitent aussi de questions plus pointues, ont avant tout pour objet de dispenser une formation dans ce domaine. Ils mettent l'accent sur le traitement de données satellitaires numériques, l'utilisation de modèles dynamiques, la solution de problèmes et l'exécution de projets utiles pour les pays des participants.

11. Les satellites météorologiques n'ont presque jamais cessé de fonctionner depuis le début de l'ère spatiale et fonctionneront certainement encore pendant des décennies, en raison de l'importance que la société accorde à l'observation et à la prévision des phénomènes météorologiques. Plusieurs pays ont lancé des satellites de ce type précisément pour répondre aux besoins de leurs propres services de météorologie chargés de prévoir le temps à des fins civiles et militaires. La plupart de ces pays exploitent leurs satellites de telle sorte que toute personne puisse, à condition d'être à portée des signaux radio émis par ceux-ci, acquérir gratuitement les données et les exploiter comme elle le souhaite. C'est ainsi que les établissements d'enseignement utilisent les observations en temps réel directement reçues des satellites comme outil d'enseignement et de formation. Ces observations peuvent également servir pour détecter les incendies de forêts, pour faciliter le transport aérien, maritime et routier, ainsi que pour l'agriculture et la pêche ou encore pour nombre d'autres activités non liées à la météorologie. Outre les satellites opérationnels, quelques satellites de recherche-développement fournissent également des informations sur l'atmosphère et les océans. L'utilisation de données satellitaires pour la prévision météorologique numérique est possible. Les données des systèmes d'information géographiques (SIG) doivent être prises en compte dans les études météorologiques et climatologiques. Le programme d'études devrait tenir compte de tous ces éléments.

12. Le fait que l'on peut, aujourd'hui, accéder mondialement aux données obtenues par les satellites météorologiques est le fruit d'une initiative de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), menée afin de permettre à des personnes, des organisations et des pays, en particulier des pays en développement, d'utiliser les nouvelles connaissances acquises en matière de sciences et techniques aérospatiales grâce à l'accès gratuit aux observations réalisées par ces satellites. À cette fin, l'OMM a permis à un petit groupe d'experts dans différents pays d'acquérir les capacités d'analyse et les connaissances techniques nécessaires pour promouvoir et appuyer de nombreux programmes nationaux dans lesquels la

technologie est au service de projets scientifiques, économiques, éducatifs et humanitaires qui amélioreront la qualité de vie de vastes segments de la population.

B. Examen du programme d'enseignement existant et de l'expérience acquise

13. L'Organisation des Nations Unies a mis au point à l'intention des centres régionaux un programme d'enseignement type portant sur les applications de la météorologie par satellite. Les premiers travaux d'élaboration de ce programme ont été menés lors de la réunion d'experts organisée par l'ONU et l'Espagne sur l'élaboration de programmes d'enseignement destinés aux centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales, tenue à Grenade (Espagne) en 1995. Le programme type, qui a pour objet l'obtention de la reconnaissance et de la certification internationales a été établi afin d'indiquer aux centres régionaux quelle est la qualité d'enseignement requise pour préserver le niveau et le caractère internationaux des cours ainsi que des centres.

14. Chaque cours comprend neuf mois d'études dans un centre régional, suivis par l'exécution d'un projet pilote d'une durée d'un an dans le pays du participant.

15. A la réunion de 1995, les experts ont prévu que les participants suivraient un cours destiné à renforcer leurs connaissances scientifiques dans le domaine de l'application des données météorologiques satellitaires et à développer leurs compétences informatiques et analytiques afin qu'ils puissent introduire cette technologie dans leur pays et tirer profit des avantages qu'elle offre.

16. Les experts ont également suggéré que les thèmes suivants soient traités:

Composition atmosphérique; lois régissant le rayonnement; circulation générale de l'atmosphère et des océans

Fondements de la radiométrie, interaction du rayonnement électromagnétique et de la matière

Thermodynamique; dynamique; systèmes tropicaux et extratropicaux dynamiques; systèmes à méso-échelle et à échelle synoptique

Prévision météorologique; utilisation combinée de données satellitaires, radar et classiques; prévision météorologique numérique

Notions de base sur les types de satellites, les orbites et les capteurs; systèmes de sondage vertical à bord des satellites et plates-formes d'acquisition de données *in situ*; extraction de produits météorologiques

Traitement et applications particulières de données recueillies par des satellites sur orbite polaire et des satellites géostationnaires dans plusieurs domaines de l'activité humaine, tels que l'agriculture, la détermination de la température sous abri et l'estimation de la température de la couche superficielle du sol; l'estimation de la quantité et de la distribution des précipitations, l'inventaire des cultures, la gestion des élevages, les pêcheries, etc.

17. Deux cours ont déjà été dispensés et un troisième se déroule actuellement. Le groupe de travail a examiné les programmes de ces cours, ainsi qu'il apparaît ci-après.

1. Premier cours

18. Le premier cours de troisième cycle sur la météorologie par satellite et le climat mondial a eu lieu au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique à Ahmedabad (Inde), du 1^{er} mars au 30 novembre 1998. Son programme avait été élaboré sur la base des lignes directrices générales établies à la réunion de 1995 (A/AC.105/649). Les modules qu'il comprenait sont indiqués dans le tableau 1 de l'annexe I. Sa ventilation en cours magistraux, travaux de laboratoire, travaux dirigés, travaux en bibliothèque, visites techniques, etc., qui a été extrêmement utile pour l'élaboration des emplois du temps pendant le cours, est présentée par la figure I.

19. Les informations en retour ci-après ont été communiquées par des participants et des enseignants:

a) Une place trop importante a été accordée à la météorologie tropicale. Un plus grand nombre de sujets liés aux systèmes météorologiques des latitudes moyennes devraient être traités;

b) Il faudrait davantage d'études de cas (notamment sur l'application de données satellitaires dans les modèles de prévision météorologique numérique) et d'exemples de problèmes numériques;

c) Un cours sur les notions fondamentales de physique, de mathématiques et de programmation informatique serait souhaitable;

d) Il faudrait consacrer davantage de temps à des thèmes tels que le changement climatique, le transfert par rayonnement, etc.;

e) Il faudrait davantage de cours par petits groupes.

2. Deuxième cours

20. Le deuxième cours de troisième cycle a eu lieu au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique du 1^{er} juillet 2000 au 31 mars 2001. Les modifications ci-après ont été apportées au programme du deuxième cours pour tenir compte des réactions des participants et des enseignants:

a) Un module de présentation des notions fondamentales de mathématiques, de statistique et d'informatique a été ajouté;

b) L'importance accordée à la météorologie tropicale, notamment aux moussons et aux systèmes météorologiques tropicaux extrêmes, a été sensiblement réduite;

c) De nouveaux cours sur les systèmes météorologiques des latitudes moyennes et sur les systèmes extratropicaux ont été ajoutés.

21. Les modules du deuxième cours sont indiqués dans le tableau 2 de l'annexe I, et l'emploi du temps correspondant est détaillé à la figure II. Les participants ont accueilli favorablement l'introduction d'un module de présentation des notions fondamentales de mathématiques, de statistique et d'informatique, lequel leur a permis de renforcer leurs connaissances.

22. Avant le cours, il avait été décidé d'introduire trois options comprenant 20 cours magistraux dans des domaines spécialisés, à savoir: a) extraction de

paramètres à partir de données satellitaires; b) assimilation des données et modèles numériques; et c) changement climatique. Compte tenu des discussions avec les participants, de la formation de ceux-ci et du temps imparti, cette idée a été abandonnée. Les éléments importants de chacune des trois options ont été intégrés dans les modules appropriés. En outre, un certain nombre de modifications ont été apportées au programme (par exemple, des cours magistraux sur la météorologie dynamique et l'océanographie physique ont été ajoutées au module de présentation).

3. Troisième cours

23. Le troisième cours organisé au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique a débuté le 1^{er} août 2002 et s'achèvera le 30 avril 2003. Après un examen approfondi du deuxième cours, les modifications suivantes ont été apportées au programme du troisième cours:

a) Des cours d'océanographie physique ont été ajoutés au sous-module de présentation;

b) L'importance accordée aux cours avancés sur le transfert par rayonnement et l'extraction de paramètres a été réduite;

c) On a mis davantage l'accent sur les applications des données satellitaires;

d) Le nombre de cours magistraux sur le climat mondial a été augmenté et des cours magistraux sur la variabilité à court terme du climat et sur les changements climatiques à long terme ont été introduits.

Les modules du troisième cours figurent au tableau 3 de l'annexe I.

4. Travaux pratiques

24. Outre les cours théoriques, des travaux pratiques sur l'utilisation de l'imagerie satellitaire, les applications des données numériques, l'extraction de paramètres météorologiques et l'interprétation des produits des modèles numériques ont lieu les après-midi. La liste des travaux pratiques correspondant à chacun des trois cours figure à la section B de l'annexe I.

5. Projets pilotes

25. Des renseignements sur les projets pilotes exécutés par les participants pendant les premier et deuxième cours sont présentés à la section C de l'annexe I.

6. Adaptation du programme

26. L'adaptation du programme, qui est un processus continu pour lequel il devrait notamment être tenu compte des progrès techniques, des nouvelles possibilités d'application qui se profilent et des réactions des participants et des enseignants, est présentée au tableau 4 de la section B de l'annexe I. À la fin de chaque module, les participants ont fait part de leurs observations et suggestions, qui ont été examinées et dont il a été tenu compte dans la mesure du possible. À la fin de chaque cours, ils ont rempli un formulaire détaillé destiné à recueillir leurs réactions. Il a également été demandé aux enseignants de dire ce qu'ils pensaient de chaque cours. Un groupe

d'experts créé à cet effet examine toutes ces informations et il est tenu compte de ses recommandations pour la conduite des cours ultérieurs.

C. Programme d'études révisé pour le cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial

1. Objectifs

27. Le cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial a notamment pour objectifs:

a) De former des spécialistes de pays en développement aux applications de la météorologie par satellite pour appuyer le développement et le bien-être socioéconomique;

b) De promouvoir l'utilisation des données et des techniques météorologiques satellitaires pour surveiller et évaluer l'environnement ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes.

28. Il est prévu qu'à l'issue du cours, les participants seront en mesure de:

a) Pourvoir en tant qu'agents de liaison au renforcement des compétences et des connaissances d'autres professionnels dans leur pays;

b) Contribuer à l'élaboration des politiques, à la planification, au développement et à la gestion des données des satellites météorologiques et de leurs applications dans leur pays;

c) Renforcer et accroître l'autonomie de leur pays afin qu'il soit moins tributaire d'experts étrangers.

2. Niveau requis

29. Les participants doivent être titulaires d'une licence de mathématiques, de physique ou de météorologie et avoir au moins cinq années d'expérience professionnelle dans le domaine de la météorologie ou dans des domaines connexes.

3. Structure du programme d'études

30. Chaque cours comprendra un programme de travail d'une durée de neuf mois suivi d'un projet pilote d'une durée d'une année dans le pays du participant. Le cours de neuf mois comporte quatre volets: notions fondamentales (deux mois); applications des données provenant des satellites météorologiques (deux mois); modèles numériques et changement climatique (deux mois); élaboration du projet et propositions (trois mois). Les trois premiers volets comportent trois modules chacun. Un quatrième module, proposé aux étudiants plus avancés, couvre des thèmes tels que les utilisations potentielles des moyens satellitaires futurs. Pour définir la structure du programme d'études, le groupe de travail a tiré profit de l'expérience acquise par le Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique.

4. Conférences et travaux pratiques

31. Le groupe de travail a suggéré 15 heures de cours magistraux et 20 heures de travaux pratiques par semaine.

5. Équipement

32. L'équipement et le matériel nécessaires pour le cours (A/AC.105/649), y compris ceux déjà détaillés dans le document A/AC.105/534, sont les suivants:

- Station terrestre de transmission d'images à haute résolution (HRPT)
- Micro-ordinateurs (équipés de modems, de lecteurs de CD-ROM, etc.)*
- Imprimantes
- Accès à Internet
- Télécopieur
- Stations terrestres de réception haute résolution pour satellites géostationnaires
- Fichiers de données
- Système d'analyse et d'affichage graphique
- Logiciel de traitement d'images et de météorologie
- Accès à des radars et à des produits nationaux de prévision météorologique*
- Stations de travail*
- Station APT/WEFAX (transmission automatique d'images/télécopie de cartes météorologiques)
- Système d'information géographique (SIG)
- Atlas climatologiques*
- Matériel topographique
- Manuels

6. Invitation/questionnaire

33. Les candidats doivent remplir un questionnaire pour aider les centres régionaux à effectuer une sélection. Chaque centre régional peut élaborer son propre questionnaire.

7. Programme révisé

34. Le programme révisé du cours sur la météorologie par satellite et le climat mondial est présenté ci-après:

Module 1: Notions fondamentales (deux mois)

1. Météorologie
 - Dynamique atmosphérique
 - Circulation générale de l'atmosphère
 - Systèmes météorologiques tropicaux et extratropicaux
2. Climatologie
 - Éléments du climat de la Terre
 - Cycles annuels et semi-annuels
 - Variabilité climatique

* La quantité de matériel nécessaire dépendra du nombre de participants retenus pour le cours.

Aperçu du climat mondial

3. Océanographie

Rôle des océans dans la météorologie et le climat

Paramètres océanographiques

Circulation océanique

Interactions air-mer

4. Physique de l'atmosphère

Composition de l'atmosphère

Thermodynamique

Lois régissant le rayonnement

Spectre électromagnétique

5. Mathématiques

Matrices

Équations différentielles partielles et totales

Intégrales et dérivées

6. Statistiques

Analyse de données

Classification dirigée et non dirigée

7. Techniques informatiques

Environnements informatiques

Langage informatique

Logiciel météorologique

Outils graphiques

Multimédia

8. Les satellites météorologiques et leurs orbites

Dynamique des orbites

Satellites polaires et géostationnaires

Satellite météorologique opérationnel

Cours de l'après-midi

Cours de langue, selon que de besoin

Exercices de laboratoire, informatique, sites Internet utiles

Module 2: Applications (deux mois)

Traitement de l'image et système d'information géographique (SIG)

1. Instruments et capteurs météorologiques

Capteurs actifs et passifs

Technologie des capteurs: optique/infrarouge/vapeur d'eau

Technologie des capteurs: micro-ondes

Notion de résolution: spatiale, temporelle

Spectromètres

Imageurs et sondeurs

2. Interprétation et applications des images
 - Systèmes à échelle synoptique et à méso-échelle
 - Systèmes météorologiques tropicaux et extratropicaux
 - Polluants atmosphériques (poussière, brume, fumée, feux de forêt, etc.)
 - Surveillance des océans
3. Techniques de traitement d'images
 - Logiciel de prévision
 - Enregistrement de l'image/navigation, correction radiométrique et géométrique
 - Correction atmosphérique
 - Classification des images, groupement, etc.
4. SIG
 - Principes fondamentaux
 - Gestion des données
 - Utilisation des données
 - Mise en œuvre du SIG
 - Production de cartes multicouches
 - Applications dans les domaines de la météorologie et de la climatologie

Extraction et application des données satellitaires

5. Extraction de paramètres géophysiques
 - Statistiques et méthodes d'inversion
 - Fonctions de pondération
6. Paramètres atmosphériques
 - Vents
 - Profil atmosphériques
 - Précipitations
 - Rayonnement infrarouge thermique de sortie
 - Concentration d'aérosols
 - Informations sur les nuages
 - Bilan radiatif
7. Paramètres terrestres et océaniques
 - Température de surface de la mer
 - Vents à la surface de la mer
 - Indice de végétation
 - Paramètres terrestres (surface)
8. Application de paramètres dérivés
 - Variabilité intrasaisonnière
 - Systèmes tropicaux/extratropicaux
 - Surveillance de la sécheresse
 - Variabilité des précipitations
 - Interactions air-mer
 - Systèmes météorologiques régionaux/locaux

Les séances de laboratoire de ce module pourront être définies en fonction des thèmes ci-dessus et des ressources dont disposent les centres régionaux.

Module 3: Modèles numériques et climat mondial (deux mois)

Modèles numériques et assimilation des données satellitaires

1. Modèles régionaux et mondiaux
Modèles simples et modèles à zéro, une, deux et trois dimensions
Structure de base des modèles
Rôle des données satellitaires dans la paramétrisation
2. Assimilation des données
Principes de base de l'assimilation des données
Systèmes d'observation
Analyse subjective et objective
Cycle d'assimilation
Produits du modèle
3. Assimilation des données satellitaires
Humidité, vent, température
Précipitations
Impact

Climat mondial

4. Changement climatique
Principes de base de la surveillance du climat
Effet de serre et réchauffement de la planète
Variabilité à court et long termes
Bilan radiatif et mécanismes de rétroaction
Effets anthropogéniques
5. Impact du changement climatique
Impacts de type El-Niño
Remontée d'eau
Calotte glaciaire
Niveau de la mer et inondation des côtes
Prévision du climat futur
6. Climatologie basée sur les données satellitaires
Climatologie des nuages (Projet international d'établissement d'une climatologie des nuages à l'aide de données satellitaires)
Climatologie terrestre (Projet international de climatologie terrestre par satellite)
Précipitations mondiales (Projet mondial de climatologie des précipitations)

Questions relatives à l'environnement

7. Chimie de l'atmosphère
 - Ozone
 - Autres gaz à l'état de traces
 - Rôle des polluants
 - Programmes d'observation par satellite
8. Protocoles relatifs à l'environnement
 - Changement du climat mondial et conséquences politiques
 - Action 21: développement durable intégré
 - Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
9. Gestion des catastrophes
 - Techniques de surveillance
 - Diffusion de l'information
 - Systèmes d'alerte faisant appel à des satellites

Les séances de laboratoire de ce module pourront être définies en fonction des thèmes ci-dessus et des ressources dont disposent les centres régionaux.

Hors programme: module 4 (option proposée aux étudiants avancés)

Ce module optionnel peut être organisé parallèlement aux autres modules en fonction de la formation universitaire, des besoins et des possibilités des participants. Ceux-ci peuvent choisir l'un des thèmes suivants:

- Utilisations potentielles des moyens satellitaires futurs
- Applications avancées des données satellitaires
- Assimilation avancée des données satellitaires dans les prévisions météorologiques numériques
- SIG avancé

Projet pilote (trois mois)**8. Matériel didactique et abréviations**

35. La liste du matériel didactique recommandé est présentée à l'annexe II et des notes explicatives à l'intention des participants figurent à l'annexe III.

Annex I

Curriculum for the first three courses

A. Modules

Table 1
First course at a glance

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
	Basic concepts of meteorology	25
	Basic concepts of climatology	20
1.2	Concepts in satellite meteorology	
	Introduction to satellite meteorology	23
	Meteorological satellite orbits, instrumentation and data products	26
1.3	Applications of satellite imagery and digital image processing	
	Use of satellite imagery in meteorology and weather forecasting	15
	Statistics, digital image processing techniques and GIS	17
2	Advanced concepts in satellite meteorology, parameter retrieval and applications	
2.1	Radiative transfer and parameter retrieval	
	Concepts of radiative transfer	25
	Meteorological and oceanographic parameter retrieval	38
2.2	Applications using digital satellite data	
	Applications of digital satellite data in meteorology and weather forecasting	29
	Applications in oceanography	23
	Applications in climate studies	15
2.3	Environmental problems and numerical models	
	Environment issues and societal impacts	17
	Satellite data assimilation and modelling	28
3	Pilot projects (three months)	

Figure I
Percentage of time spent on each activity during the first course

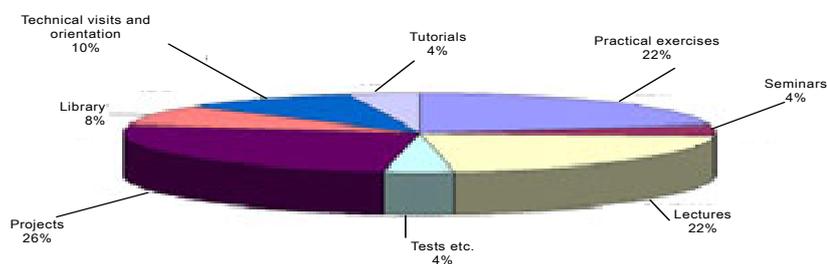


Table 2

Second course at a glance

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing (three months)	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
	Basic concepts of meteorology	20
	Basic concepts of climatology	10
1.2	Concepts in satellite meteorology	
	Mathematical and computational techniques for satellite meteorology	20
	Introduction to satellite meteorology	25
	Meteorological satellite orbits and instrumentation	20
1.3	Applications of satellite imagery and digital image processing	
	Use of satellite imagery in meteorology and weather forecasting	20
	Statistics, digital image processing techniques and GIS	15
2	Advanced concepts in satellite meteorology, parameter retrieval and applications (three months)	
2.1	Radiative transfer and parameter retrieval	
	Concepts of radiative transfer	30
	Meteorological and oceanographic parameter retrieval	30
2.2	Applications using digital satellite data	
	Applications of digital satellite data in meteorology and weather forecasting	25
	Applications in oceanography	15
	Satellite data assimilation and numerical models	10
2.3	Applications in climate and environmental studies	
	Climate studies	15
	Environment issues and societal impacts	15
2.4	Advanced applications (electives)	
	Advanced meteorological and oceanographic parameter retrieval	20
	Advanced applications in climate studies	20
	Advanced satellite data assimilation and modelling	20
3	Pilot projects (three months)	

Figure II

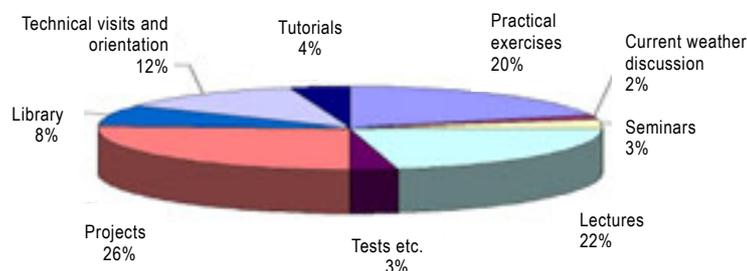
Percentage of time spent on each activity during the second course

Table 3
Third course

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
1	Fundamentals of meteorology, climatology and remote sensing (three months)	
1.1	Concepts in meteorology and climatology	
1.1 MATH	Mathematical and computational techniques for satellite meteorology	20
	Matrices	
	Partial and total differential equations	
	Integral and derivatives	
	Basic concepts of statistics	
1.1 MET	Basic concepts of meteorology, climatology and oceanography	30
	Dynamic and physical meteorology	
	Extra-tropical weather systems	
	Tropical weather systems	
	Climate of the region	
	Ocean and climate	
1.2	Concepts in satellite meteorology	
1.2 SM	Radiative transfer in satellite meteorology	25
	Characteristics of electromagnetic radiation	
	Passive remote sensing	
	Active remote sensing	
	Parameter retrieval and validation	
1.2 MSI	Meteorological satellite orbits and instrumentation	15
	Orbits and navigation	
	Operational polar-orbiting satellites	
	Operational geostationary satellites	
	Other satellites	
	Satellite data archive	
1.3	Image processing and interpretation	
1.3 WF	Image interpretation in meteorology and weather forecasting	30
	Satellite imagery	
	Spectral properties	
	Identification of meso-scale systems	
	Tropical synoptic systems	
	Extra-tropical synoptic systems	
	Radar imagery	
1.3 DIP	Image processing techniques and GIS	15
	Map projection	
	Satellite positioning systems	
	Image registration, radiometric and geometric correction	
	Image classification	
	GIS	
2.1	Geophysical parameter retrieval	
2.1 AP	Atmospheric parameters	15
	Winds	
	Temperature profile	

<i>Module/ submodule</i>	<i>Topic</i>	<i>Number of lectures</i>
	Humidity profile	
	Precipitation	
	Outgoing longwave radiation	
	Clouds and aerosols	
2.2 LOP	Land and oceanic parameters	10
	Sea-surface temperature	
	Sea-surface winds	
	Vegetation index	
	Land-surface parameters	
2.2	Applications of satellite-derived parameters	
2.2 AWF	Applications in meteorology and weather forecasting	30
	Onset of monsoon	
	Intra-seasonal and inter-annual variability	
	Tropical cyclones	
	Extra-tropical cyclones	
	Drought monitoring	
	Air-sea interaction	
2.2 NM	Satellite data assimilation in numerical models	15
	General circulation models	
	Concepts of data assimilation	
	Satellite data assimilation	
	Impact of satellite data assimilation	
2.3	Global climate and environment	
2.3 SC	Short-term climate variability	25
	El Niño and tele-connection	
	Cloud climatology	
	Land-surface changes	
	Ozone and other trace gases	
2.3 LC	Long-term climate change	25
	Climate change	
	Greenhouse effect and global warming	
	Changes in cryosphere	
	Future climate scenario and satellite missions	
2.3 ESI	Environment issues and societal impacts	10
	Oceanic biological productivity	
	Coastal zone environment	
	Pollution	
	Disaster management	
	Mass communications	
3	Pilot projects (three months)	30

B. Practical exercises

1. List of practical exercises for the first course

Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications

1. Computer facilities and familiarization
2. Geostationary satellite (Indian National Satellite System (INSAT) and geostationary meteorological satellites (GMS)) data applications
3. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data applications
4. Cloud motion vectors from INSAT and their applications
5. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation
6. Applications of satellite data in tropical cyclone track prediction
7. Multimedia demonstration of Meteosat/Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)/cyclone data
8. Visualization packages

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of outgoing longwave radiation (OLR) using INSAT very high resolution radiometer (VHRR) and GMS data
2. Estimation of daily and weekly rainfall using INSAT-VHRR data
3. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
4. Study of average layer humidity and temperatures over different regions using NOAA television and infrared observation satellite (TIROS) operational vertical sounder (TOVS) finished products
5. Processing of the International TOVS Processing Package (ITPP) 5 software for estimation of the temperature profile using NOAA/TOVS data
6. Interpretation of general circulation model results
7. Study of model simulation results from CO₂-doubling using general circulation models
8. Snow-cover estimation from NOAA-AVHRR data
9. Normalized vegetation index from NOAA-AVHRR data
10. Use of satellite meteorological data in GIS
11. Surface winds from scatterometer data
12. Sea level from altimeter data
13. Familiarization with the low resolution transmittance (LOWTRAN) calculation package

2. List of practical exercises for the second course**Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications**

1. Computer facilities and familiarization
2. Geostationary satellite (INSAT, GMS) data applications
3. NOAA-AVHRR data applications
4. Cloud motion vectors from INSAT and their applications
5. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation
6. Applications of satellite data in tropical cyclone track prediction
7. Multimedia demonstration of Meteosat/GOES/cyclone data and visualization packages
8. Estimation of OLR using INSAT-VHRR and GMS data, Meteosat applications

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of daily and weekly rainfall using INSAT-VHRR data
2. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
3. Processing of the ITPP 5.01 software for estimation of the temperature profile using NOAA/TOVS data
4. Interpretation of general circulation model results
5. Snow cover, normalized vegetation index, sea ice, forest fire from NOAA-AVHRR data
6. Use of satellite meteorological data in GIS
7. Surface winds from scatterometer data
8. Familiarization with LOWTRAN package (demonstration)
9. Multichannel scanning microwave radiometer (MSMR) retrieval
10. Aerosol applications

3. Suggested list of practical exercises for the third course**Module 1. Operational meteorological satellite data handling and applications**

1. Computer facilities and familiarization
2. INSAT-VHRR data applications
3. NOAA-AVHRR data applications
4. Visualization techniques
5. Cloud motion vectors from geostationary satellites and their applications
6. Applications of satellite data in tropical cyclone intensity estimation

7. Application of satellite data in tropical cyclone track prediction
8. Multimedia demonstration of Meteosat/GOES/cyclone data and visualization packages
9. Estimation of OLR using VHRR data and applications

Module 2. Parameter retrieval and numerical modelling

1. Estimation of daily and weekly rainfall using VHRR data
2. Sea-surface temperature estimation from NOAA-AVHRR data and applications in oceanic circulation studies
3. Estimation of the temperature and humidity profile using NOAA/TOVS data
4. Interpretation of general circulation model results
5. Snow cover, normalized vegetation index, sea ice, forest fire from NOAA-AVHRR data (demonstration)
6. Use of satellite meteorological data in GIS (demonstration)
7. Surface winds from scatterometer data (demonstration)
8. Familiarization with LOWTRAN package (demonstration)
9. Geophysical parameter retrievals from microwave radiometers
10. Objective analysis of wind
11. Objective analysis of temperature

C. Pilot projects

1. Pilot projects carried out by participants in the first course

1. Soil moisture estimation using the normalized difference vegetative index (NDVI) from NOAA/AVHRR data over Mongolia
2. Retrieval, validation and applications of the sea surface temperature (SST) around Sri Lanka using the European remote sensing satellite (ERS) along-track scanning radiometer (ATSR) data
3. Rainfall estimation using cloud indexing
4. Cloud analysis of western disturbances
5. Wildfire danger estimation and monitoring using NOAA-AVHRR, Indian Remote Sensing Satellite (IRS) and GIS techniques
6. NDVI and estimation of soil moisture over Bangladesh
7. Retrieval, validation and applications of atmospheric temperature and humidity profiles from NOAA/TOVS satellite sounding data over Mongolia
8. Tropical cyclone track prediction using cloud top temperature and chaos theory

9. Onset of monsoons over Nepal using satellite data
10. Rainfall estimation over Bangladesh and the Bay of Bengal by Arkin's method
11. Temperature and humidity profile over Uzbekistan using NOAA/TOVS data
12. Study of coastal upwelling in the Persian Gulf and Oman Sea
13. Rainfall estimation over the Indonesian region
14. Validation of NWP model output with satellite-derived products vis-à-vis conventional meteorological observations
15. Rainfall estimation over a cyclone using the cloud indexing technique
16. Break and active monsoon over Nepal
17. Ocean circulation modelling using satellite data

2. Pilot projects carried out by participants in the second course

1. Movement of tropical cyclones near the Philippines using GMS water-vapour imagery
2. Tropical cyclone intensity and track prediction using INSAT-VHRR data
3. Study of tropical cyclone track prediction over the Vietnamese region using GMS data
4. Identifying oceanic and atmospheric features from NOAA-AVHRR data
5. A study of sea-surface temperatures and sea-surface winds over the Indian Sea using the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) microwave imager and IRS-P4 MSMR data
6. Retrieval of humidity profiles from MSMR water vapour using the method of empirical orthogonal function analysis
7. Study of MSMR brightness temperature data over India and Kazakhstan and its potential for large-area soil moisture estimation
8. Humidity and temperature profile from NOAA/TOVS satellite data and its comparison with radiosonde and National Centers for Environmental Prediction (NCEP) data
9. Humidity and temperature profile from the NOAA/TOVS package and a comparison with NCEP and Meteosat data
10. Climatology of Mongolia using NCEP National Center for Atmospheric Research (NCAR) data
11. Rainfall estimation over the Indian region derived from the Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) special sensor microwave imager (SSM/I) and IRS-P4-MSMR
12. Diurnal cycle of rainfall during the Asian summer monsoon using TRMM observations
13. Multispectral cloud classification using TRMM observations for improving rainfall estimation from visible/infrared techniques

14. Study of western disturbances using satellite data
15. Verification of different model forecasts over Kazakhstan with the analysis and satellite data
16. Comparison of extended range model forecast with Oceansat-1 data
17. A comparative study of sea state estimated by satellite data and conventional fleet forecast over the Arabian Sea
18. SST monitoring during El Niño from satellites and linkage with rainfall over Indonesia
19. Snow monitoring over the western Himalayas
20. Vegetation monitoring using multi-temporal coarse resolution satellite (and weather) data over the Korean peninsula
21. Monitoring of major crops in the Democratic People's Republic of Korea using NOAA-AVHRR channel 1 and 2 satellite data

Table 4
Evolution of the satellite meteorology curricula (theory)

<i>Module</i>	<i>Submodule title</i>	<i>First course</i>	<i>Second course</i>	<i>Third course</i>
		<i>Number of hours</i>		
1	Concepts in meteorology	45	30	30
	Mathematical techniques	-	20	10
	Concepts in satellite	49	45	40
	Applications of satellite	32	35	45
2	Radiative transfer and	63	60	25
	Applications of digital data	52	40	40
	Climate and environmental	32	30	60
	Data assimilation	28	20	15
Orientation		-	20	35
Total		301	300	300

Note: In laboratory exercises, more stress is put on the data products from operational satellites. The recent microwave remote sensing data are introduced in more detail. Emphasis on the validation of satellite data and their use in numerical models is being introduced in the third course.

Annex II

Recommended teaching material

Barrett, E. C., and D. W. Martine. The use of satellite data in rainfall monitoring. London, Academic Press, 1981.

Images in weather forecasting: A practical guide for interpreting satellite and radar imagery. M. J. Bader *and others*, eds. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

Henderson-Sellers, A., and K. McGuffie. A climate modeling primer. 2. ed. New York, John Wiley and Sons, 1997.

Houze, Jr., R. A. Cloud dynamics. San Diego, Academic Press, 1993.

Kidder, S. Q., and T. H. Vonder Haar. Satellite meteorology: An introduction. San Diego, Academic Press, 1995.

Kondratyev, K. Ya., and A. P. Cracknell. Observing global climate change. London and Bristol, Taylor and Francis, 1998.

Centre for Space Science and Technology Education in Asia and the Pacific. Lecture notes on satellite meteorology. 1: Basics, 2: Retrievals, 3: Modeling Climate Change.

Printed by the Space Application Centre, Indian Space Research Organization, 2000.

Liou, K. N. An introduction to atmospheric radiation. New York, Academic Press, 1980.

Menzel, W. P. Notes on satellite meteorology. Geneva, World Meteorological Organization, 1997. (WMO/TD 824, SAT-17)

Robinson, I. S. Satellite oceanography. Chichester, Ellis Horwood, 1985.

Rao, P. K., *and others*. Weather satellites: Systems, data, and environmental applications. Boston, American Meteorological Society, 1990.

Trenberth, K. E., ed. Climate system modeling. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

Ulaby, F. T., R. K. Moore and A. K. Fung. Microwave remote sensing: Active and passive. II: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1981.

World Meteorological Organization, Preliminary statement of guidance regarding how well satellite capabilities meet WMO user requirements in several application areas. Geneva, WWW/SAT, 1998. (WMO/TD/913, SAT-21)

Annex III

Explanatory notes for the curriculum

0-D	zero-dimensional
1-D	one-dimensional
2-D	two-dimensional
3-D	three-dimensional
APT	automatic picture transmission
ATSR	along-track scanning radiometer
AVHRR	advanced very high resolution radiometer
CCD	charge-coupled device
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
ENSO	El Niño Southern Oscillation
ERS	European remote sensing satellite
GIS	geographic information system
GMS	geostationary meteorological satellite
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
HRPT	high-resolution picture transmission
INSAT	Indian National Satellite System
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
ISLSCP	International Satellite Land Surface Climatology Project
ITPP	International TOVS Processing Package
LOWTRAN	low resolution transmittance
MSMR	multichannel scanning microwave radiometer
NCAR	National Centre for Atmospheric Research
NCEP	National Centres for Environmental Prediction
NDVI	normalized difference vegetative index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NWP	numerical weather prediction
OLR	outgoing longwave radiation
SSM/I	special sensor microwave imager

SST	sea surface temperature
TIROS	television and infrared observation satellite
TOVS	TIROS operational vertical sounder
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VHRR	very high resolution radiometer
WEFAX	weather facsimile
WMO	World Meteorological Organization
