

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

Sciences spatiales et sciences de l'atmosphère

Programme du cours



Nations Unies

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

Sciences spatiales et sciences de l'atmosphère

Programme du cours

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



Nations Unies, 2003

Préface

Il y a des milliers d'années, sur une petite planète rocheuse en orbite autour de modestes étoiles dans une galaxie spirale ordinaire, nos lointains ancêtres levaient les yeux et s'interrogeaient sur leur place entre la Terre et le ciel. Au XXI^e siècle, nous nous posons encore les mêmes questions fondamentales: comment l'univers est-il apparu et a-t-il évolué, comment les hommes sont-ils venus là, où vont-ils et sont-ils seuls dans l'univers? Après ce qui n'est qu'un instant infime en termes cosmiques, nous commençons à avoir un début de réponse à ces questions. Au cours des 40 dernières années, les sondes et les observatoires spatiaux ont joué un rôle central dans ce processus.

Les missions et la recherche réalisées dans le domaine des sciences spatiales et des sciences de l'atmosphère nous apportent quotidiennement de nouveaux éléments de réponse. Les programmes concernant l'astronomie, le système solaire ainsi que le Soleil et son interaction avec la Terre relèvent des sciences spatiales et des sciences de l'atmosphère. Celles-ci s'intéressent à tout ce qui se trouve dans les couches moyennes de l'atmosphère terrestre (60 kilomètres de la Terre environ) et la limite de l'univers à plusieurs milliards d'années-lumière. On pourra peut-être mieux comprendre ce qui est du ressort des sciences spatiales et des sciences de l'atmosphère en voyant ce qui relève d'autres domaines.

- a) Les programmes relatifs aux sciences de la Terre concernent la Terre jusqu'aux couches moyennes de l'atmosphère (environ 60 kilomètres de la Terre). Ils englobent par exemple la recherche sur le réchauffement de la planète et sur l'appauvrissement de la couche d'ozone;
- b) L'exploration humaine et le développement dans l'espace sont du ressort des engins spatiaux habités et des stations spatiales. Les sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère peuvent à l'occasion avoir recours à des engins spatiaux ou à des stations spatiales pour réaliser des expériences dans l'espace, mais elles ne sont pas les principaux utilisateurs de ces engins et ne s'occupent pas de leur gestion;
- c) Les programmes de recherche biologique et physique portent sur la recherche dans le domaine des sciences des matériaux et des sciences de la vie effectuée à bord des engins spatiaux et des stations spatiales;
- d) Les programmes de technique aérospatiale s'efforcent de mettre au point des technologies permettant d'améliorer les avions et les lanceurs futurs (fusées).

Table des matières

	<i>Page</i>
Préface	iii
Abréviations et notes explicatives	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 sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère	3
Objectif du cours et sujets recommandés	3
Examen des recommandations du Comité de révision des programmes d'enseignement	5
Programme révisé pour le troisième cours sur les sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère	6
 Annexes	
I. Programme du troisième cours	10
II. Programme révisé du deuxième cours	13
III. Programme du premiers cours	18
IV. Ouvrages recommandés	21

Abréviations et notes explicatives

CCD	dispositif à transfert de charge
CO ₂	dioxyde de carbone
f/n	un télescope d'ouverture numérique utile f/n a une ouverture égale à un n-ième de sa longueur focale
GMRT/OSRT	radiotélescope géant à onde métrique/radiotélescope à synthèse d'Ooty
GPS	système mondial de localisation
He-Ne	hélium-néon
IR	infrarouge
MgF ₂	Fluorure de magnésium
MST	mésosphère, stratosphère, troposphère
SIG	système d'information géographique
rayons X	rayons électromagnétiques de longueurs d'onde inférieures aux rayons ultraviolets mais supérieures aux rayons gamma
UV	ultraviolet
VHF	très haute fréquence
VLBI	radio-interférométrie à très grande base

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 existant 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 sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère

Le groupe de travail des sciences spatiales et des sciences de l'atmosphère, qui a été créé lors de la "Réunion d'experts des Nations Unies sur les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales: leur statut et leur évolution future", a examiné et révisé le programme du troisième cours (annexe I), qui a commencé le 1^{er} août 2002 au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique. Les programmes du deuxième et du premier cours sont indiqués à l'annexe II et III respectivement.

Objectif du cours et sujets recommandés

Le groupe de travail a été d'avis que le cours sur les sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère devrait répondre aux besoins des pays en développement et donc viser à développer des capacités générales dans ces disciplines afin d'appuyer la mise en place des infrastructures. Ce cours devrait s'adresser: aux étudiants ayant une formation en sciences physiques ou en ingénierie qui souhaitent poursuivre des études universitaires supérieures ou d'autres recherches dans le domaine des sciences spatiales; aux enseignants des universités ou des écoles secondaires qui doivent avoir un bon niveau de connaissances générales dans le domaine des sciences spatiales; aux ingénieurs participant à des missions spatiales, soit dans l'espace, soit au sol; et à des administrateurs, quel que soit le type d'activités spatiales dont ils s'occupent.

La structure générale du cours devrait être la même que celle des autres cours d'études supérieures, à savoir neuf mois d'enseignement suivant des méthodes variées (cours magistraux, séances d'explications, travaux pratiques, séminaires etc.) aboutissant à la réalisation d'un projet pilote d'une durée de deux mois environ. Les participants réaliseraient ensuite un projet de recherche d'une durée d'un an sur un sujet concernant normalement leur pays. Ce projet serait réalisé dans leur pays d'origine sous la direction de deux superviseurs: un enseignant du centre régional et un enseignant du pays d'origine du participant. Il a été jugé éminemment souhaitable que le projet pilote constitue la première phase du projet d'un an; ainsi le participant retournera dans son pays déjà muni de certaines données, doté d'une formation appropriée en matière de recherche et ayant établi une relation de travail avec l'enseignant du centre qui sera chargé de le superviser. Cela supposerait que le projet pilote soit lui aussi choisi en accord avec le superviseur du pays d'origine du participant.

Le groupe de travail a souligné que les centres régionaux devaient être libres de choisir les méthodes d'enseignement et les critères de sélection qu'ils préféraient et qui étaient appropriés à leur région, à leur situation et à leurs compétences. Le groupe de travail a recommandé sept sujets d'étude; un huitième sujet intitulé "géodésie spatiale" a également été suggéré et examiné. Le groupe a estimé qu'un cours sur les sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère devrait porter sur plusieurs de ces sept ou huit sujets (par exemple de trois à cinq), qui seront choisis par le centre. Le programme d'enseignement pourrait être interprété avec souplesse et modifié pour être adapté à un cours donné, mais les sujets énoncés indiquent de manière générale la portée et le niveau des études attendus. Même si dans certains cas (technologie des

engins spatiaux, par exemple) il se peut que la personne chargée d'élaborer le programme n'inclue que quelques-uns des éléments proposés, le programme d'enseignement donnera cependant des indications utiles. Toutefois, le cours doit être à un niveau d'études universitaires supérieures. L'instrumentation sera décrite normalement comme une partie du sujet approprié.

Les huit sujets proposés sont les suivants:

1. Mathématiques pour spécialistes des sciences spatiales et ingénieurs

En guise d'introduction aux mathématiques pour spécialistes des sciences spatiales et ingénieurs, un cours de remise à niveau pourrait porter sur les disciplines suivantes: algèbre, géométrie, trigonométrie, algèbre linéaire, calcul infinitésimal, équations différentielles ordinaires, probabilités et statistique (distribution de Poisson et distribution gaussienne), introduction à l'analyse numérique, notions de conception de programmes informatiques, connaissances de base d'analyse vectorielle. Il pourrait être souhaitable de recourir à de nombreux exemples pris dans le domaine de la physique de l'espace: mouvement dans un champ gravitationnel, orbites satellitaires, etc. À la suite du cours de remise à niveau, pourraient avoir lieu les cours suivants:

Statistique et analyse de données: analyse d'erreurs, analyse de séries chronologiques, tendances, analyse de Fourier, effet du bruit sur les données, techniques d'ajustement, moindres carrés, probabilités maximales, filtrage de phase linéaire, tests de signification statistique

Méthodes d'analyse numérique: interpolation et extrapolation, méthodes des différences finies, intégration

Modélisation: solution numérique des équations aux dérivées partielles, élaboration d'un modèle numérique simple, utilisation pratique des modèles numériques

Cette liste a été délibérément limitée, en partie pour que les centres régionaux aient la liberté d'ajouter des éléments adaptés aux autres disciplines qu'ils enseignent dans le domaine des sciences spatiales et en partie parce que les étudiants devraient avoir à réaliser de petits projets afin qu'ils se perfectionnent véritablement en mathématiques.

2. Structure, composition, dynamique et évolution des atmosphères planétaires

Atmosphères (y compris l'atmosphère terrestre)

Bilan énergétique de la Terre

Structure, composition et dynamique de l'atmosphère terrestre

Rayonnement solaire et ses effets sur la variation de l'atmosphère terrestre

Comparaison avec les atmosphères d'autres planètes

Évolution à long et court terme de l'atmosphère

Climatologie régionale

3. Physique de l'ionosphère

Structure et variabilité de l'ionosphère terrestre

Technique ionosphériques, en particulier techniques spatiales

Dynamique du plasma ionosphérique

Émissions optiques de l'ionosphère

Ionosphère des planètes et de leurs satellites

Interaction entre ionosphère et atmosphère

Communications radio à travers l'ionosphère

4. Vent solaire, magnétosphère et météorologie spatiale

Activité solaire et ses effets

Champs magnétiques de la Terre et des autres planètes

Magnétosphères de la Terre et des autres planètes

Milieu interplanétaire et météorologie spatiale

5. Astronomie et astrophysique
 - Introduction à l'astronomie
 - Structure et évolution des étoiles et des galaxies
 - Observations astronomiques à toutes les longueurs d'onde
 - Rayons cosmiques
 - Cosmologie élémentaire
6. Notions élémentaires de conception, de construction et de lancement d'engins spatiaux
 - Dynamique orbitale et lanceurs
 - Mesure et contrôle d'attitude
 - Production et stockage d'énergie
 - Télémesure et contrôle, gestion de données
 - Conception et essais mécaniques
 - Conception et contrôle thermiques
 - Considérations relatives à la conception de la charge utile
 - Matériaux à utiliser dans les systèmes spatiaux
7. Biologie spatiale
 - Introduction à la biologie spatiale
 - Réponse physiologique globale aux vols spatiaux
 - Rayonnements et radiobiologie
 - Risques médicaux liés aux activités spatiales
 - Vie dans l'espace
8. Géodésie spatiale
 - Systèmes de coordonnées terrestres, mondiales et régionales
 - Création de systèmes de coordonnées à partir d'observations spatiales
 - Système mondial de localisation (GPS): théorie et application
 - Système d'information géographique (SIG): théorie et application
 - Applications scientifiques de la géodésie spatiale: dérive des continents, séparation Terre-Lune, etc.

Examen des recommandations du Comité de révision des programmes d'enseignement

Le Comité de révision des programmes d'enseignement, organe ad hoc établi par le Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique en prévision de la réunion de septembre 2001, a proposé un programme révisé pour le troisième cours. Ce programme, qui a été examiné par le groupe de travail, est le suivant:

Modules	Matières
1	Questions théoriques
1.1	Structure, composition et dynamique des atmosphères planétaires
1.1.1	Structure de l'atmosphère terrestre
1.1.2	Composition de l'atmosphère terrestre
1.1.3	Dynamique de l'atmosphère terrestre
1.1.4	Rayonnement solaire et ses effets sur l'atmosphère
1.1.5	Atmosphères des planètes et des satellites
1.2	Physique de l'ionosphère
1.2.1	Structure et variabilité de l'ionosphère terrestre
1.2.2	Techniques ionosphériques: au sol et spatiales
1.2.3	Dynamique du plasma ionosphérique
1.2.4	Émissions optiques
1.2.5	Ionosphères des autres planètes et satellites
2	Expériences
2.1	Surveillance de l'ozone depuis la surface
2.2	Radiosondage de l'ionosphère (ionosonde)

Modules	Matières
2.3	Sonde de Langmuir pour la mesure de la densité électronique
2.4	Imagerie optique des déficits en plasma
2.5	Expérience de modélisation de l'atmosphère neutre
3	
3.1	Vent solaire, magnétosphère et météorologie spatiale
3.1.1	Éléments de physique solaire
3.1.2	Champ magnétique de la Terre et des autres planètes
3.1.3	Magnétosphère de la Terre et des autres planètes
3.1.4	Milieu interplanétaire
3.1.5	Météorologie spatiale
3.2	Astronomie et astrophysique
3.2.1	Introduction à l'astronomie
3.2.2	Instruments et techniques d'observation astronomique
3.2.3	Études des étoiles et des galaxies dans le visible et l'infrarouge proche
3.2.4	Astrophysique des hautes énergies
3.2.5	Études radioastronomiques
4	
4.1	Photométrie des étoiles doubles
4.2	Étude interférométrique des nébuleuses planétaires
4.3	Études des pulsars à l'aide du radiotélescope géant à onde métrique (GMRT)/radiotélescope à synthèse d'Ooty (OSRT)
4.4	Mesures de la température des planètes éloignées à l'aide de détecteurs IR
4.5	Étude du spectre solaire

La procédure d'évaluation proposée pour le troisième cours serait la suivante:

	<i>Points</i>
Travaux théoriques (4 mémoires x 300 points)	1 200
Exercices pratiques	
Participation aux exercices pratiques (10 exercices x 45 points)	450
Examens pratiques (2 examens x 75 points)	150
Séminaires (4 séminaires x 75 points)	300
Projet pilote	300
Total	<u>2 400</u>

À la suite des débats qui ont eu lieu au sein du groupe de travail, au cours desquels l'introduction d'un cinquième module consacré à la conception, la construction et le lancement d'engins spatiaux a été suggérée (voir par. 16 ci-dessous), la procédure d'évaluation a été révisée (voir annexe I, par. 3).

Programme révisé pour le troisième cours sur les sciences spatiales et les sciences de l'atmosphère **Recommandations concernant la structure du troisième cours**

Le troisième cours comportera cinq modules:

1. Théorie
2. Expériences
3. Théorie
4. Expériences
5. Projet pilote

On trouvera davantage de détails concernant le programme, et en particulier les modules théoriques, à l'annexe I.

Changements proposés par rapport au programme du deuxième cours

Dans le deuxième cours, l'enseignement comportait au total 300 heures de cours et 300 heures consacrées aux expériences (voir annexe II). Les principales modifications recommandées pour ce qui est de la répartition des heures sont examinées ci-dessous.

Changements concernant les matières théoriques

Dans le deuxième cours, 50 heures étaient consacrées à l'astronomie et à l'astrophysique. Dans le programme révisé, 60 heures seraient prévues pour ces disciplines et 33 heures supplémentaires pour la physique planétaire. Ces heures devraient se répartir comme suit:

	<i>Heures</i>
Atmosphères des planètes et des satellites	12
Ionosphères des autres planètes et satellites	8
Champ magnétique de la Terre et des autres planètes	6
Magnétosphère de la Terre et des autres planètes	<u>7</u>
Total	33

Ainsi 43 heures supplémentaires seraient consacrées à l'astronomie et à l'astrophysique et à la physique planétaire dans le programme proposé.

Pour le deuxième cours, 50 heures étaient consacrées aux études optiques et en laboratoire des processus spatiaux. Dans le programme révisé pour le troisième cours, ces heures seraient réduites à 8 et seraient consacrées aux techniques de mesure et à la propagation ionosphérique.

Dans le deuxième cours, 50 heures étaient consacrées à la modélisation: climat, atmosphère neutre, effets radiatifs des aérosols, ionosphère et simulation numérique des bulles de plasma. Dans le programme révisé pour le troisième cours, ces matières ne devraient plus occuper qu'environ 15 heures sous forme d'une expérience de modélisation sur l'atmosphère/l'ionosphère dans le module 4.

En outre, il est proposé que 59 heures soient consacrées à une matière nouvelle: notions élémentaires de conception et de lancement d'engins spatiaux.

Les modules théoriques se présenteraient donc comme suit:

<i>Modules</i>	<i>Matières</i>
1.	
1.1	Structure, composition et dynamique des atmosphères planétaires
1.1.1	Notions de base sur l'atmosphère terrestre
1.1.2	Dynamique de l'atmosphère terrestre
1.1.3	Rayonnement solaire et ses effets sur l'atmosphère
1.1.4	Atmosphères des planètes et des satellites
1.2	Physique de l'ionosphère
1.2.1	Structure et variabilité de l'ionosphère terrestre
1.2.2	Techniques de mesure et propagation ionosphérique
1.2.3	Dynamique du plasma ionosphérique
1.2.4	Émissions lumineuses
1.2.5	Ionosphères des autres planètes et satellites

<i>Modules</i>	<i>Matières</i>
3	
3.1	Vent solaire, magnétosphère et météorologie spatiale
3.1.1	Éléments de physique solaire
3.1.2	Champ magnétique de la Terre et des autres planètes
3.1.3	Magnétosphère de la Terre et des autres planètes
3.1.4	Météorologie spatiale
3.1.5	Techniques de mesure des paramètres magnétiques solaires et terrestres
3.2	Astronomie et astrophysique
3.2.1	Introduction à l'astronomie et à l'astrophysique
3.2.2	Instruments et techniques d'observation astronomique
3.2.3	Étude des étoiles et des galaxies dans le visible et l'infrarouge proche
3.2.4	Astrophysique des hautes énergies
3.2.5	Radioastronomie
3.3	Notions élémentaires de conception, de construction et de lancement d'engins spatiaux
3.3.1	Dynamique, contrôle et guidage orbitaux
3.3.2	Production et stockage d'énergie
3.3.3	Télémesure et télécommande
3.3.4	Aspects mécaniques, thermiques et relatifs à la charge utile
3.3.5	Matériaux à utiliser dans les systèmes spatiaux

Modification du programme des expériences

Le deuxième cours comprenait au total 12 expériences (voir annexe II). Les expériences ci-après devraient être abandonnées:

Fonction de fente d'un monochromateur
Spectroscopie d'absorption pour déterminer la densité de la colonne
Mesure du champ magnétique terrestre à l'aide d'un magnétomètre à précession de protons
Interférométrie de la lueur ionosphérique
Mesure de la fluorescence à l'aide de rhodamine

Les nouvelles expériences ci-après ont été proposées:

Photométrie des étoiles doubles
Étude interférométrique des nébuleuses planétaires
Expérience de modélisation de l'atmosphère/ionosphère
Étude radio pulsar à l'aide du GMRT/OSRT
Étude du spectre solaire

Répartition des diverses activités

Le cours durera neuf mois et comptera 200 journées de six heures, soit 1 200 heures au total. Ces heures se répartiront comme suit:

<i>Activités et horaires</i>	<i>Heures</i>	<i>Pourcentage du temps total</i>
Cours théoriques: 5 matières, 60 heures par matière; 3 cours chaque jour de 9 heures à 10 heures, de 10 h 40 à 11 h 50 et de 11 h 50 à 13 heures	300	25
Exercices pratiques: 12 exercices pratiques, les lundi, mardi, mercredi de 14 h 30 à 17 h 30	180	15
Travail en bibliothèque: le vendredi de 14 h 30 à 17 h 30	60	5
Séances d'explication et séminaires: le jeudi de 14 h 30 à 15 h 30	60	5
Visites d'étude: 5 semaines de six jours (en deux sessions); six heures par jour	180	15
Examens (y compris temps de préparation)	120	10
Projet (10 semaines de cinq jours, six heures par jour)	300	<u>25</u>
Total	1 200	100

Annexe I

Programme du troisième cours

Des informations détaillées sur les matières théoriques sont présentées ci-après:

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières et nombre d'heures</i>
1	
1.1	Structure, composition et dynamique des atmosphères planétaires (60 heures)
1.1.1	Notions de base sur l'atmosphère terrestre (12 heures) Nomenclature de l'atmosphère, équations hydrostatiques, hauteur d'échelle, géopotentiel; notions de chimie relatives à l'atmosphère; considérations thermodynamiques; cinétique chimique élémentaire; composition et chimie de l'atmosphère moyenne et de la thermosphère; bilan thermique de la thermosphère; modélisation de l'atmosphère neutre
1.1.2	Dynamique de l'atmosphère terrestre (16 heures) Équation du mouvement de l'atmosphère neutre; équation du vent thermique; principes de base relatifs aux ondes planétaires; ondes de gravité interne et marées atmosphériques; description fondamentale de la dynamique de l'atmosphère et effets de la dynamique sur les espèces chimiques; technique lidar
1.1.3	Rayonnement solaire et ses effets sur l'atmosphère (20 heures) Rayonnement solaire au sommet de l'atmosphère, atténuation du rayonnement solaire dans l'atmosphère; transfert radiatif, effets thermiques des rayonnements, effets photochimiques des rayonnements, modélisation des effets radiatifs des aérosols
1.1.4	Planètes telluriques et éloignées; structure et composition de l'atmosphère de la Lune, de Jupiter, de Mars, de Venus et de Saturne, ainsi que leurs satellites importants
1.2	Physique ionosphérique (60 heures)
1.2.1	Structure et variabilité de l'ionosphère terrestre (12 heures) Introduction à l'ionosphère, processus photochimiques, théorie de Chapman relative à la photo-ionisation; production de couches ionosphériques; réactions de perte et chimie des régions ionosphériques; morphologie de l'ionosphère
1.2.2	Propagation ionosphérique et techniques de mesure (16 heures) Effets de l'ionosphère sur la propagation des ondes radioélectriques; réfraction, dispersion et polarisation; théorie magnéto-ionique; fréquence critique et hauteur virtuelle; propagation oblique et fréquence utilisable maximale; techniques mises en œuvre au sol – ionosonde; radars; scintillations et contenu électronique total, photomètres, imageurs et interféromètres, absorption ionosphérique; techniques des fusées et des satellites: sonde de Langmuir, sonde de champ électrique, analyseurs à potentiel retardé, spectromètres de masse, magnétomètres, libération de vapeur, traînée de satellite pour une densité neutre
1.2.3	Dynamique du plasma ionosphérique (16 heures) Équations fondamentales applicables aux fluides; mouvements du plasma ionosphérique à l'état d'équilibre sous l'effet de forces appliquées; création de champs électriques; cartographie des champs électriques; fréquences de collision; conductivité électrique, diffusion de plasma, dynamo ionosphérique, électrojet équatorial; modélisation ionosphérique
1.2.4	Lueur de la haute atmosphère (8 heures) Luminescence du ciel nocturne; luminescence du ciel diurne; luminescence du crépuscule; aurore, application des mesures de la lueur de la haute atmosphère à la dynamique et à la composition de l'ionosphère
1.2.5	Ionosphères des autres planètes et satellites (8 heures) Ionosphères de Mars, de Venus et de Jupiter

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières et nombre d'heures</i>
3	
3.1	Vent solaire, magnétosphère et météorologie spatiale (60 heures)
3.1.1	Éléments de physique solaire (6 heures) Structure et composition du Soleil; le Soleil considéré comme une source de rayonnement, les tâches et les cycles solaires; éruptions solaires
3.1.2	Champ magnétique de la Terre et des autres planètes (12 heures) Modèles pour la production de champs géomagnétiques; variations séculaires des champs géomagnétiques; champs de référence géomagnétiques internationaux; éléments locaux des champs géomagnétiques; détermination des coordonnées géomagnétiques des stations; variation diurne des champs géomagnétiques; champs magnétiques d'autres planètes
3.1.3	Magnétosphère de la Terre et des autres planètes (14 heures) Vent solaire et ses caractéristiques; champs magnétiques interplanétaires et structure des secteurs; formation de cavités géomagnétiques, magnétopause, magnétogaine et front de choc; cornet polaire et queue de la magnétosphère; plasmosphère et ceintures de rayonnements Van Allen; magnétosphère des autres planètes
3.1.4	Météorologie spatiale (16 heures) Tempêtes géomagnétiques, orages élémentaires et systèmes de courants; éjections de masse coronale; modification de la magnétosphère de la Terre au cours des perturbations magnétiques et ses incidences; effets des perturbations magnétiques aux latitudes élevées, moyennes et basses
3.1.5	Techniques de mesures des paramètres solaires et géomagnétiques (12 heures) Techniques optiques pour les paramètres solaires; techniques radio pour les paramètres solaires; techniques reposant sur les rayons X pour les paramètres solaires; techniques utilisées pour les mesures magnétiques
3.2	Astronomie et astrophysique (60 heures)
3.2.1	Introduction à l'astronomie et l'astrophysique (18 heures) Paramètres fondamentaux des observations astronomiques (échelle de magnitude, systèmes de coordonnées), classification des étoiles, diagramme de Hertzsprung-Russell, équation de Saha, critères de Jean pour la formation des étoiles, évolution des étoiles, classification des galaxies, cosmologie
3.2.2	Instruments astronomiques et techniques d'observation (12 heures) Télescope: f/n (un télescope ayant une ouverture numérique utile f/n a une ouverture égale à un n -ième de sa longueur focale), échelle du plan focal, types de télescope, conditions d'observation, résolution limitée par la diffraction; photomètres: spectromètres (interféromètres, grilles) imageurs (galette de microcanaux, dispositif à transfert de charge (CCD) et ensembles infrarouges), techniques de haute résolution angulaire (tache, occultation lunaire, optique adaptative)
3.2.3	Étude des étoiles et des galaxies dans le visible et l'infrarouge proche (12 heures) Distribution de l'énergie spectrale (dans les bandes du visible et de l'infrarouge) dans les étoiles, rotation des étoiles, étude des étoiles doubles, nébuleuses gazeuses, courbe d'extinction de la matière interstellaire, poussière, courbes de rotation des galaxies, distribution de l'énergie spectrale, étude couleur-couleur (imagerie de galaxies dans différentes bandes)
3.2.4	Astronomie des hautes énergies (6 heures) Transmission atmosphérique, techniques de détection des rayons X et gamma, télescope à rayons X, imagerie et spectroscopie, processus de rayonnement, disques d'accrétion dans les trous noirs et les étoiles binaires à rayons X, noyaux actifs des galaxies
3.2.5	Radioastronomie (12 heures) Radiotélescopes, synthèse d'ouverture, techniques de scintillation interplanétaire, radio-interférométrie à très grande base (VLBI), pulsars, radiogalaxies, distribution de l'hydrogène atomique neutre dans les galaxies, mécanismes de rayonnement
3.3	Conception, construction et lancement des engins spatiaux (détails à préciser)

Les modules pratiques révisés se présentent comme suit:

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>
2	
2.1	Fonctionnement de la sonde de Langmuir
2.2	Sondage ionosphérique à l'aide d'une ionosonde
2.3	Surveillance de l'ozone de surface
2.4	Imagerie optique des appauvrissements de plasma
4	
4.1	Photomesure des étoiles doubles
4.2	Étude interférométrique des nébuleuses planétaires ou mesure de la température des planètes éloignées à l'aide de détecteurs infrarouges
4.3	Détermination de la masse des particules en suspension à l'aide de microbalances pondérales à cristaux de quartz
4.4	Mesure de la profondeur optique à l'aide de photomètre à filtre
4.5	Expérience de modélisation sur l'atmosphère ou l'ionosphère
4.6	Caractérisation des filtres d'interférence
4.7	Étude des radiopulsars à l'aide du GMRT/OSRT
4.8	Étude du spectre solaire

L'évaluation des étudiants reposera sur leur connaissance de la théorie, les exercices pratiques, les séminaires et le projet pilote. Les étudiants devront présenter un séminaire dans chacune des cinq matières théoriques. Aux fins de l'évaluation, la pondération des différents éléments du cours (théorie, exercices pratiques, séminaires et projet pilote) sera la suivante:

	<i>Points</i>
Théorie (5 matières, 100 points chacune):	
Examen écrit (3 heures), 80 points par matière	400
Interrogations conduites par chaque professeur, 20 points par matière	100
Total partiel	500
Expériences:	
Examens (y compris oraux)	80
Évaluation continue, motivation et discipline	<u>120</u>
Total partiel	300
Séminaires (5 exposés, 20 points chacun)	100
Projet pilote	<u>200</u>
Total	1 000

Les mentions décernées seront les suivantes:

A+ (très bien)	750 points ou plus	(75 % ou plus)
A (bien)	600 à 749 points	(moins de 75 % mais au moins 60 %)
B (passable)	500 à 599 points	(moins de 60 % mais au moins 50 %)

Annexe II

Programme révisé du deuxième cours

Le deuxième cours de formation universitaire supérieure en sciences spatiales et sciences de l'atmosphère a eu lieu au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique du 1^{er} août 2000 au 30 avril 2001. Le premier cours avait été structuré en deux phases: la première (six mois) s'était déroulée au centre régional, et la seconde (six mois) avait eu lieu dans le pays d'origine des participants. Pour le deuxième cours, la durée de la première phase a été portée à 9 mois, passés au centre, et la seconde phase a duré 12 mois, passés dans le pays d'origine. Après avoir mené à bien les deux phases, tous les participants retenus devaient faire l'objet d'une évaluation par une université du pays du centre régional, en vue de la délivrance d'une maîtrise de technologie en sciences spatiales. Les changements apportés au programme par rapport au premier cours sont présentés ci-après.

Modification du nombre d'heures

Le tableau 1 présente les différences relatives aux quatre premiers modules entre le premier et le deuxième cours; les dénominations des modules et sous-modules du premier cours ont été utilisés.

Tableau 1

Comparaison par module ou sous -module entre les premier et deuxième cours

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre d'heures</i>	
		<i>Premier cours</i>	<i>Deuxième cours</i>
1 ^a			
1.1	Structure et composition de l'atmosphère neutre	40	50
1.2	Aspects plasmatiques de l'environnement terrestre	40	50
1.3	Astronomie et astrophysique	<u>40</u>	<u>50</u>
	Total partiel	120	150
2 ^b			
2.1	Mesure de la masse de particules en suspension	20	25
2.2	Mesure du champ magnétique de la Terre à l'aide d'un magnétomètre à précession de protons	20	25
2.3	Spectrométrie d'absorption pour la détermination de la densité de colonne des constituants mineurs de l'atmosphère	20	25
2.4	Mesure de la concentration de méthane d'échantillons d'air	20	25
2.5	Mesure des courants de faible intensité à l'aide d'une sonde de Langmuir	20	25
	Heures additionnelles pour le deuxième cours	—	<u>25</u>
	Total partiel	100	150
3 ^a			
3.1	Physique ionosphérique et propagation des ondes radio	40	50
3.2	Études optiques et de laboratoire des processus spatiaux	40	50
3.3	Modélisation des processus atmosphériques	<u>40</u>	<u>50</u>
	Total partiel	120	150
4 ^b			
4.1	Caractérisation des filtres d'interférence	20	25
4.2	Interférométrie à l'aide d'un interféromètre de Fabry-	20	25

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre d'heures</i>	
		<i>Premier cours</i>	<i>Deuxième cours</i>
	Perot		
4.3	Imagerie optique et photométrie à filtre	20	25
4.4	Utilisation de colorants avec des lasers à colorants	20	25
4.5	Sondage ionosphérique à l'aide d'une ionosonde	20	25
	Heures additionnelles pour le deuxième cours	—	<u>50</u>
	Total partiel	100	175
	Total	440	625

^aLors du premier cours, le nombre d'heures était insuffisant: il n'y avait pas assez de temps pour a) des discussions pendant les cours et b) des explications concernant les erreurs commises par les étudiants lors des examens écrits.

^bLors du premier cours, le nombre d'heures était insuffisant: il n'y avait pas assez de temps pour des lectures, une préparation, des démonstrations, des observations, des répétitions, des vérifications et la rédaction de commentaires sur les expériences.

Lors du premier cours, aucune attention n'a été accordée au projet pilote en raison a) d'un manque de temps et b) d'une connaissance insuffisante des expériences susceptibles d'être menées dans le pays d'origine des participants. Cela a entraîné les problèmes suivants:

- a) L'achèvement du projet pilote a été retardé;
- b) Les participants n'ont pas disposé immédiatement des données nécessaires;
- c) Les échanges avec le superviseur désigné par le centre régional ont été trop peu intenses pour être utiles;
- d) Il s'est parfois produit un changement de superviseur dans le pays d'origine des participants.

Eu égard aux considérations qui précèdent, deux mois ont été consacrés exclusivement au projet pilote lors du deuxième cours.

Programme du deuxième cours

Le tableau 2 présente le programme du deuxième cours, y compris les matières théoriques relevant des modules 1 et 3.

Tableau 2

Programme du deuxième cours

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre d'heures</i>
1		
1.1	Structure, composition et dynamique de l'atmosphère neutre	50
1.1.1	Structure, composition, équilibre hydrostatique, thermodynamique de la hauteur d'échelle	
1.1.2	Rayonnement solaire, son transfert dans l'atmosphère, aérosols et effets radiatifs des aérosols	
1.1.3	Dynamique atmosphérique, mouvements de grande ampleur, ondes gravitationnelles des marées et turbulence	
1.1.4	Gaz à effet de serre et gaz présents à l'état de traces: leur chimie, les techniques de mesure et le réchauffement planétaire	
1.1.5	Mesure par satellite de paramètres neutres	

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre d'heures</i>
1.2	Aspects plasmatiques de l'environnement terrestre	50
1.2.1	Géomagnétisme, circuit électrique mondial	
1.2.2	Physique des plasmas	
1.2.3	Processus magnétosphériques et vent solaire, activité solaire	
1.2.4	Mesures <i>in situ</i> des paramètres plasmatiques	
1.2.5	Irrégularités ionosphériques	
1.3	Astronomie et astrophysique	50
1.3.1	Éléments d'astronomie (planétaire, stellaire et extragalactique)	
1.3.2	Rayons gamma, rayons X et astronomie des rayons ultraviolets	
1.3.3	Astronomie du visible, de l'infrarouge et de l'infrarouge lointain	
1.3.4	Ondes millimétriques, radioastronomie et astronomie solaire	
1.3.5	Progrès accomplis récemment dans les techniques de détection astronomique	
2		
2.1	Mesure de la masse des particules en suspension	25
2.2	Surveillance de surface des constituants mineurs	25
2.3	Détermination de la fonction de fente d'un monochromateur à l'aide d'un laser hélium-néon utilisé comme source de lumière	25
2.4	Sondage ionosphérique à l'aide d'une ionosonde	25
2.5	Mesure des courants de faible intensité à l'aide d'une sonde de Langmuir	25
2.6	Imagerie optique des appauvrissements de plasma	25
3		
3.1	Physique ionosphérique et propagation des ondes radioélectriques	
3.1.1	Formation et structure de l'ionosphère	
3.1.2	Théorie de la propagation radio-ionosphérique	
3.1.3	Radiosondage de l'ionosphère (ionosonde, doppler haute fréquence, radar ionosphérique, technique des récepteurs espacés, contenu électronique total)	
3.1.4	Scintillations ionosphériques, tomographie et systèmes GPS	
3.1.5	Radars ionosphériques (radar de rétrodiffusion VHF, radar à diffusion incohérente et radar MST)	
3.2	Études optiques et de laboratoire des processus spatiaux	
3.2.1	Notions élémentaires d'optique	
3.2.2	Photomètres et images	
3.2.3	Imagerie spectrale de l'atmosphère	
3.2.4	Sondage laser de l'atmosphère	
3.2.5	Astrophysique de laboratoire	
3.3	Modélisation des processus atmosphériques	
3.3.1	Modélisation climatique	
3.3.2	Modélisation de l'atmosphère neutre	
3.3.3	Modélisation des effets radiatifs des aérosols	
3.3.4	Modélisation de l'ionosphère	
3.3.5	Simulation numérique des bulles de plasma	
4		
4.1	Spectroscopie d'absorption pour la détermination de la densité de la colonne de constituants mineurs	25
4.2	Photomètre à filtre pour la mesure de la profondeur optique	25
4.3	Mesure du champ magnétique terrestre à l'aide d'un magnétomètre à	25

<i>Modules ou sous-modules</i>	<i>Matières</i>	<i>Nombre d'heures</i>
	précession de protons	
4.4	Interférométrie à l'aide d'un interféromètre de Fabry-Perot	25
4.5	Mesure de la transmission de la fenêtre de MgF ₂	25
4.6	Caractérisation des filtres d'interférence	25
5	Projet pilote	^a

^aDeux mois.

Le module 5, qui est un projet pilote d'une durée de deux mois, a été réalisé après l'achèvement des quatre autres modules. Comme un grand nombre de participants ne savaient pas très bien quel genre de projet d'une durée d'un an était réalisable dans leur pays, le projet pilote exécuté au centre régional a constitué la base d'un tel projet. Le projet pilote a été réalisé en consultation avec les superviseurs du pays du centre régional et du pays d'origine. Le but de ce module de deux mois était de permettre aux participants de travailler sous la direction d'un superviseur du pays du centre régional et d'obtenir a) des conseils sur la façon de procéder ultérieurement dans le pays d'origine; b) toutes les données expérimentales nécessaires; et c) les logiciels, etc. dont ils avaient besoin.

Procédure d'évaluation utilisée pour le deuxième cours

Modules 1 et 3 (théorie)

Après avoir enseigné les différents éléments des modules, les professeurs faisaient subir aux étudiants une interrogation d'une durée d'une heure. Une moyenne pour les interrogations a été calculée pour chacun de ces éléments. En outre, pour chaque élément, chaque participant devait présenter un séminaire, qui était évalué par un comité de professeurs. Enfin, pour chaque élément, un examen écrit d'une durée de trois heures a eu lieu. Les points étaient répartis comme suit:

	<i>Points</i>
Épreuve écrite d'une durée de trois heures	125
Interrogation d'une durée d'une heure (moyenne des cinq interrogations)	50
Séminaire	<u>25</u>
Total	200

Le total pour les modules 1 et 3 était de 1 200 points (200 points pour chacune des six matières).

Modules 2 et 4 (pratiques)

Des points ont été attribués pour les exercices pratiques correspondant aux 12 matières des modules 2 et 4 et, pour chaque module, un exercice pratique a fait l'objet d'un examen et d'une évaluation. La répartition des points était la suivante:

	<i>Points</i>
Exercices pratiques (40 points pour chacun des 12 exercices)	480
Examen sur un exercice pratique pour chacun des deux modules (60 points chacun)	<u>120</u>
Total	600

Pour l'ensemble du cours, le maximum des points était de 2 400 et des mentions ont été attribuées en fonction du pourcentage obtenu:

A+ (très bien)	75 % ou plus
A (bien)	moins de 75 % mais au moins 60 %
B (passable)	moins de 60 % mais au moins 50 %

Projet d'une durée d'un an

Après l'achèvement de la première phase du cours au centre régional, tous les participants doivent réaliser un projet d'une durée d'un an dans leur pays, sous la direction d'un superviseur de ce pays; en outre, il faut qu'ils aient des communications régulières avec le superviseur du pays du centre régional. Après l'achèvement de son projet, chaque participant rédige un mémoire, qui doit être approuvé et signé par les deux superviseurs, ainsi que par le candidat. Ce mémoire est transmis pour évaluation à un superviseur désigné par le centre régional. Lorsque le mémoire est approuvé par ce superviseur, il est transmis à l'université du pays du centre régional, qui l'examine en vue de déterminer s'il y a lieu de décerner une maîtrise de technologie en physique spatiale aux candidats qui remplissent les critères établis.

Annexe III

Programme du premier cours

Le premier cours universitaire supérieur de sciences spatiales et de sciences de l'atmosphère a eu lieu au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique, du 1^{er} juin au 30 novembre 1998.

Récapitulation du programme du premier cours

<i>Phases et modules</i>	<i>Dénomination (durée)</i>	<i>Nombre de cours</i>
I	Première période (trois mois)	
I.1	Sciences de l'atmosphère	60
I.2	Ionosphère et interaction entre le Soleil et la Terre	60
	Projet et travaux de laboratoire	
	Visite d'un observatoire astronomique (deux semaines)	
	Examens	
	Seconde période (trois mois)	
I.3	Instrumentation, techniques et traitement de données	75
I.4	Modélisation	50
II	Projet dans le pays d'origine du participant (six mois)	

Le programme détaillé de la partie théorique du cours était le suivant:

Module 1: Atmosphère

Structure et composition, équilibre hydrostatique, hauteurs d'échelle, thermodynamique, rayonnement solaire et son transfert dans l'atmosphère, aérosols et rayonnements

Électricité atmosphérique, circuit électrique mondial

Dynamique de l'atmosphère, mouvements à grande échelle, marées, ondes gravitationnelles et turbulence

Ozone, gaz présents à l'état de traces et chimie, méthodes de mesure, appauvrissement de la couche d'ozone; concentration en dioxyde de carbone (CO₂) et autres gaz à effet de serre, réchauffement planétaire, modifications à long terme de l'atmosphère en raison des activités humaines.

Module 2: Ionosphère et interaction entre le Soleil et la Terre

Notions fondamentales de la physique des plasmas

Soleil, rayonnement solaire, activité solaire, vent solaire, géomagnétisme, magnétosphère

Photo-absorption et photo-ionisation, formation de couches ionosphériques, théorie magnéto-ionique, propagation des ondes radio dans l'ionosphère, radiosondage, calcul sur les liaisons radio aux fréquences maximales utilisables et aux hautes fréquences, caractéristiques de l'ionosphère aux faibles latitudes, électrojet équatorial, couche E sporadique équatoriale et couche F étalée équatoriale.

Éruptions solaires, tempêtes géomagnétiques et effets sur l'ionosphère, couplage ionosphère-magnétosphère

Propagation des ondes radioélectriques dans l'ionosphère, rotation de Faraday, phase différentielle et mesures du temps de propagation de groupe, tomographie ionosphérique, scintillations d'ondes radioélectriques

Processus de dispersion d'ondes radioélectriques, radars de rétrodiffusion cohérente et incohérente

Théorie des sondes, caractéristiques des sondes, mesures *in situ*, émissions à l'origine de la luminosité du ciel, principes des mesures optiques, aéronomie optique

Astronomie des hautes énergies, astronomie des rayons X, sources de rayons X, techniques de détection; astronomie des rayons gamma, sources, télescopes et détecteurs placés dans l'espace, télescopes de Cerenkov terrestres et astronomie des rayons gamma de très haute énergie; tendances de l'ingénierie et progrès récents des techniques de détection

Biologie spatiale

Module 3: Techniques d'instrumentation et traitement des données

Radiosondage: ionosondes, technique Doppler haute fréquence, technique des récepteurs espacés

Méthodes des radiobalises pour les études du contenu électronique, de la tomographie et de la scintillation

Radars pour les études atmosphériques et ionosphériques, radar de rétrodiffusion cohérente, radar de rétrodiffusion incohérente, radar météorique et radar MST

Sondes *in situ* et expériences de modification artificielle, sonde de Langmuir, sonde double, analyseur à potentiel de freinage, magnétomètre, spectromètre de masse et expériences de dégagement chimique; conductivité à bord de ballons, densité ionique et sonde de champ électrique pour la stratosphère

Expériences portant sur l'aéronomie optique, photomètres, spectromètres, caméra multi-image pour l'observation de luminosité diurne et nocturne du ciel.

Principe et application des techniques lidar, lidar pour aérosols, lidar de Rayleigh, lidars Doppler et lidars d'absorption différentielle

Instrumentation pour l'étude de la chimie atmosphérique et des aérosols, spectroscopie d'absorption de Dobson, cryo-échantillonneur, chromatographie en phase gazeuse, photomètre solaire, échantillonneur d'aérosols, techniques de télédétection

Techniques de mesure de laboratoire, instruments pour expériences de laboratoire sur la photoabsorption et la photo-ionisation

Instruments pour les observations astronomiques, télescopes, polarimétrie, haute-résolution et spectrophotométrie et spectroscopie, détecteurs d'ensembles

Module 4: Modélisation

Interaction entre l'atmosphère océanique et l'atmosphère terrestre, études sur le climat passé

Chimie de l'ozone troposphérique et stratosphérique, interaction entre les aérosols et le rayonnement solaire

Équation de continuité, modèles ionosphériques, études de simulations numériques, scintillations ionosphériques, atmosphères planétaires

Pour la partie du cours relative aux expériences, 8 des 11 expériences suivantes doivent être réalisées:

1. Caractérisation des filtres d'interférence
2. Interférométrie à l'aide d'un interféromètre de Fabry-Perot

3. Mesures de la masse de particules en suspension
4. Mesures du champ magnétique de la Terre à l'aide d'un magnétomètre à précession de protons
5. Source de lumière produite à l'aide d'un mini-arc d'argon
6. Utilisation des colorants avec les lasers à colorant
7. Spectrométrie d'absorption pour la détermination de la densité de colonne des constituants mineurs de l'atmosphère
8. Mesures de la concentration en méthane d'échantillons d'air
9. Principe du fonctionnement d'une ionosonde
10. Mesures de courants de faible intensité à l'aide d'une sonde de Langmuir
11. Imagerie optique et photométrie à filtre

Annexe IV

Ouvrages recommandés

Atreya, S. K. Atmospheres and ionospheres of the outer planets and their satellites. New York et Berlin, Springer-Verlag, 1986.

Atreya, S. K., J. B. Pollack et M. S. Matthews, eds. Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres. Tucson, University of Arizona Press, 1989.

Bennett, J., M. Donahue, N. Schneider et M. Voit. The cosmic perspective. New York, Addison Wesley Longman, 1998.

Boyd, T. J. M. et J. J. Sanderson. Plasma dynamics. London, Nelson and Son, 1969.

Brasseur, G. et S. Solomon. Aeronomy of the middle atmosphere. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1984.

Budding, E. Astronomical photometry. New York, Cambridge University Press, 1993.

Christiansen, W. N. et J. A. Hogbom. Radiotelescopes. New York, Cambridge University Press, 1988.

Daglis, I. A. Space storms and space weather hazards. NATO science series II: mathematics, physics and chemistry. Vol. 38. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001.

Davies, K. Ionospheric radio waves. Londres, Blaisdell Publishing, 1969.

Davies, J. K. Satellite astronomy: the principles and practice of astronomy from space. Chichester, Ellis Horwood, 1988.

Degaonkar, S. S. Space science and Earth's environment. Gujarat University, 1975.

Fichtel, C. E. et J. I. Trombka. Gamma-ray astrophysics: new insight into the universe. NASA reference publication 1386. Greenbelt, Maryland, Goddard Space Flight Center, 1996.

Giraud, A. et M. Petit. Ionospheric techniques and phenomena. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1978.

Hargreaves, J. K. The upper atmosphere and solar-terrestrial relations. New York, Van Nostrand Reinhold, 1979.

Hargreaves, J. K. The solar-terrestrial environment. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

Jansen, F., R. Pirjola et R. Favre. Space weather: hazard to the earth? Zurich, Swiss Re Publishing, 2000.

Jastrow, R. et M. H. Thompson. Astronomy fundamentals and frontiers. New York, John Wiley and Sons, 1972.

Kelley, M. C. The Earth's ionosphere: plasma physics and electrodynamics, San Diego, Academic Press, New York, 1989.

Avec le concours de R. A. Heelis.

Kitchin, C. R. Optical astronomical spectroscopy. Bristol and Philadelphia, Institute of Physics Publishing, 1995.

Lang, R. K. Sun, Earth and sky. New York, Springer-Verlag, 1995.

- Lang, R. K. 3rd enlg. and rev. ed. Berlin et Heidelberg, Springer-Verlag, 1999. I: Radiation, gas processes and high-energy astrophysics. II: Space, time, matter and cosmology.
- Mattei, J. A. et J. R. Percy. Hands-on astrophysics. Cambridge, Massachusetts, American Association of Variable Star Observers, 1998.
- Matsushita, S. et W. H. Campbell, eds. Physics of geomagnetic phenomena. New York, Academic Press, 1967.
- McCormac, B. M. et A. Omholt, eds. Atmospheric emissions. New York, Van Nostrand Reinhold, 1969.
- Pasachoff, J. M. et L. Golub. The solar corona. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- Phillips, K. J. H. Guide to the Sun. Cambridge, Cambridge University Press, 1992.
- Ratcliffe, J. A. Introduction to the ionosphere and magnetosphere. Cambridge, Cambridge University Press, 1972.
- Rees, M. H. Physics and chemistry of the upper atmosphere. Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- Rishbeth, H. et O. K. Garriot. Introduction to ionospheric physics. New York, Academic Press, 1969.
- Shimazaki, T. Minor constituents in the middle atmosphere. Dordrecht, D. Reidel Publishing, 1985.
- Shu, F. H. The physical universe: an introduction to astronomy. Berkeley, University of California, 1982.
- Stix, M. The Sun: an introduction. Berlin et New York, Springer-Verlag, 1991.
- Tinbergen, J. Astronomical polarimetry. Cambridge, Cambridge University Press, 1996.
- Walker, G. Astronomical observation: an optical perspective. Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- Wentzel, D. G. Astrophysics for university physics courses. <http://www.seas.columbia.edu/~ah297/un-esa/astrophysics/index.html>
- Zeilik, M. et J. Gaustad. Astronomy: the cosmic perspective. New York, John Wiley and Sons, 1990.
- Zirin, H. Astrophysics of the Sun. Cambridge, Cambridge University Press, 1988.