



Assemblée générale

Distr.: Générale
5 octobre 2000

Français
Original: Anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Rapport du neuvième Atelier Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: satellites et réseaux de télescopes, instruments de participation mondiale à l'étude de l'univers (Toulouse, France, 27-30 juin 2000)

Table des matières

<i>Chapitre</i>	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
I. Introduction	1-11	2
A. Historique et objectifs	1-6	2
B. Programme	7-8	2
C. Participants	9-11	3
II. Observations et recommandations	12-27	3
III. Résumé des exposés	28-71	5
A. Astronomie spatiale, missions en cours et tendances pour le prochain millénaire	28-29	5
B. Équipes de conception de nouveaux projets	30-35	5
C. Exploration du Soleil	36-39	6
D. Planète Mars	40-43	6
E. Le concept d'observatoire virtuel	44-46	7
F. Archives des missions spatiales	47-51	8
G. Système de données astrophysiques	52-53	8

H. Réseaux de télescopes astronomiques optiques	54-56	8
I. Programmes d'astrophysique pratique (Hands-on astrophysics)	57-61	9
J. Enseignement de l'astrophysique dans le cadre des programmes universitaires de physique: modules d'enseignement conçus pour la série d'ateliers ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales	62-71	10
IV. Observatoire spatial mondial	72-73	11

I. Introduction

A. Historique et objectifs

1. La troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III) et la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain ont recommandé que les activités du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales encouragent la collaboration entre États Membres aussi bien au niveau régional qu'au niveau international, en insistant sur le développement des connaissances et des compétences dans les pays en développement.

2. À sa quarante-deuxième session, en 1999, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a approuvé le programme d'ateliers, de stages de formation, de colloques et de conférences proposé pour 2000. Par la suite, l'Assemblée générale, dans sa résolution 54/67 du 6 décembre 1999 a, à son tour, approuvé les activités du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales pour 2000.

3. En application de la résolution 54/67 et conformément aux recommandations d'UNISPACE III, le neuvième Atelier Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne (ESA) sur les sciences spatiales fondamentales: satellites et réseaux de télescopes, outil d'une participation mondiale à l'étude de l'univers, a été organisé par l'ONU, l'ESA et le Gouvernement français au Centre national d'études spatiales (CNES) de Toulouse (France) du 27 au 30 juin 2000. Cet atelier était coorganisé par l'Agence spatiale autrichienne, le CNES, le Comité de la recherche spatiale (COSPAR), l'Agence spatiale allemande (DLR), l'Union astronomique internationale

(UAI) et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis d'Amérique. Le CNES a accueilli l'atelier au nom du Gouvernement français.

4. Cet atelier est le neuvième de la série d'ateliers Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne (ESA) consacrée aux sciences spatiales fondamentales et organisée à l'intention des pays en développement d'Asie et du Pacifique en Inde en 1991 et à Sri Lanka en 1996 (voir A/AC.105/489 et A/AC.105/640); d'Amérique latine et les Caraïbes, en Colombie et au Costa Rica en 1992 et au Honduras en 1997 (voir A/AC.105/530 et A/AC.105/682); d'Afrique au Nigéria en 1993 (voir A/AC.105/560/Add.1); d'Asie occidentale en Égypte en 1994 et en Jordanie en 1999 (voir A/AC.105/580 et A/AC.105/723) et d'Europe en Allemagne en 1996 (voir A/AC.105/657).

5. Le principal objectif de l'atelier était de présenter les principaux résultats scientifiques récemment obtenus par les grands observatoires spatiaux en ce qui concerne l'étude des étoiles et des confins de l'univers. Ces missions d'observation par satellite constituent un outil extrêmement utile d'étude de tous les aspects des sciences spatiales fondamentales depuis l'espace en complément des travaux effectués depuis le sol. La question du volume massif de données produites par ces missions a été examinée dans la perspective de l'évolution des besoins en matière de recherche de la communauté scientifique, ainsi que les manières de faciliter l'accès aux bases de données considérables dont disposent les grandes agences spatiales. L'importance de la recherche et de l'enseignement basés sur les archives issues des missions spatiales a été examinée, de même que l'utilité de telles missions pour les pays en développement qui souhaitent participer activement à la découverte de l'univers. L'accès futur à l'espace, par exemple avec un

observatoire spatial mondial, a été considéré essentiel. Les évolutions attendues à long terme nécessiteront de commencer à planifier et à définir rapidement les capacités nécessaires pour exploiter un tel observatoire.

6. Le présent rapport a été établi en vue d'être soumis au Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa quarante-quatrième session et à son Sous-Comité scientifique et technique à sa trente-huitième session.

B. Programme

7. L'atelier a été ouvert par des allocutions liminaires de représentants du Centre national d'études spatiales, de l'Agence spatiale européenne et de l'ONU. Le programme comportait une série de sessions scientifiques portant chacune sur une question bien précise. Les exposés faits par les orateurs invités pour rendre compte de leurs activités de recherche et d'enseignement ont été suivis de brefs débats. Au total, 60 communications ont été présentées par des intervenants invités, venant de pays en développement comme de pays industrialisés.

8. Les différentes sessions de l'atelier ont porté sur les questions suivantes: a) archives des missions spatiales et nouvelles observations depuis l'espace et moyens d'accéder; b) systèmes de données astrophysiques, et moyens de les utiliser; c) exploration *in situ* et à distance du système solaire; d) expérience tirée de l'utilisation des réseaux de télescopes astronomiques optiques, résultats obtenus et besoins; et e) retombées des sciences spatiales pour la société. Des expositions d'affiches ont donné l'occasion de mettre l'accent sur des problèmes et des projets spécifiques dans le domaine des sciences spatiales fondamentales. Le 26 juin 2000, veille de l'ouverture de l'atelier, une réunion a été consacrée à l'observatoire spatial mondial dans l'ultraviolet.

C. Participants

9. Des chercheurs et des enseignants de pays en développement et de pays industrialisés de l'ensemble des régions économiques, mais plus particulièrement d'Asie occidentale et d'Afrique, ont été invités par l'ONU et l'Agence spatiale européenne à participer à l'atelier. Ils étaient enseignants à l'université, ou travaillaient dans des centres de recherche, des

observatoires, des agences spatiales nationales, des organisations internationales ou dans le secteur privé, et leurs activités étaient en rapport avec les différents aspects des sciences spatiales fondamentales traités par l'atelier. Les participants ont été choisis en fonction de leurs travaux scientifiques et de leur expérience des programmes et des projets dans lesquels les sciences spatiales fondamentales jouent un rôle de premier plan.

10. Les fonds apportés par l'Organisation des Nations Unies, l'Agence spatiale européenne et le Centre national d'études spatiales ont servi à couvrir les frais de voyage et les autres dépenses des participants de pays en développement. Au total, environ 80 spécialistes des sciences spatiales fondamentales ont participé à l'atelier.

11. Les 34 États Membres ci-après étaient représentés: Afrique du Sud, Allemagne, Algérie, Arabie saoudite, Autriche, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, Éthiopie, Fédération de Russie, France, Inde, Israël, Japon, Jordanie, Koweït, Liban, Malaisie, Maurice, Ouganda, Pakistan, Paraguay, Pérou, Pologne, République arabe syrienne, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Soudan, Tadjikistan, Togo, Tunisie, Ukraine, Viet Nam et Yémen.

II. Observations et recommandations

12. Compte tenu du fait que les technologies utilisées pour les télécommunications sont aujourd'hui matures et que le développement des services disponibles se traduit par une évolution rapide des retombées qu'il est possible d'en attendre, il importe que les pays en développement poursuivent le mouvement engagé depuis 10 ans en ce qui concerne l'étude des sciences spatiales fondamentales et développent leurs capacités dans le domaine des télécommunications de façon à pouvoir effectivement tirer profit des services offerts au monde entier par les principales agences spatiales.

13. Les progrès technologiques réalisés en matière de conception de télescopes et d'instruments au cours des 10 dernières années, conjugués au développement exponentiel de la puissance des ordinateurs et des capacités en matière de communication ont profondément modifié la nature de la recherche en astronomie. Les études à grande échelle du ciel depuis l'espace comme depuis le sol sont menées à des longueurs d'onde allant des ondes radio aux rayons X,

ce qui permet d'obtenir pour la première fois une image panchromatique de l'univers. Ces nouveaux moyens offrent désormais la possibilité d'entreprendre une étude du concept "d'observatoire virtuel" pour l'exploitation des données astronomiques: ainsi les chercheurs non seulement auront accès à des ensembles de données de l'ordre du téraoctet et du pentaoctet, mais également seront en mesure d'utiliser divers instruments pour exploiter ces données. La création d'un observatoire virtuel impliquera une nouvelle collaboration entre astronomes et informaticiens. Elle offrira par ailleurs la possibilité de développer la collaboration avec les spécialistes d'autres disciplines rencontrant le même type de problèmes et de développer l'enseignement. L'observatoire virtuel doit être librement ouvert pour ce qui concerne l'accès aux archives comme les interfaces offertes aux chercheurs.

14. Il faut mettre davantage l'accent sur la coopération internationale et régionale pour regrouper en réseaux les télescopes situés dans les pays en développement, faute de quoi les écarts que l'on constate actuellement entre les différentes régions seront extrêmement difficiles à combler à l'avenir et pourraient mettre en péril le processus de développement de nombreux pays en développement.

15. Les participants ont constaté avec satisfaction qu'UNISPACE III avait reconnu la contribution de cette série d'ateliers ONU/Agence spatiale européenne au développement des sciences spatiales fondamentales et que ces dernières contribuaient à jeter les bases de la poursuite et de l'accélération d'un développement durable.

16. Ils ont également noté la participation active de plus en plus importante des pays en développement aux activités spatiales de pointe, comme l'avait souligné l'évaluation du concept d'observatoire spatial mondial.

17. Ils ont convenu que le futur observatoire spatial mondial dans l'ultraviolet offrait l'occasion d'une avancée très importante, et pouvait être à l'origine d'un développement durable des sciences spatiales fondamentales dans le monde entier comme offrir de nouvelles possibilités exceptionnelles de collaboration au niveau mondial, sans comparaison avec ce qui se faisait aujourd'hui et ce quel que soit le niveau d'industrialisation des pays participants.

18. Les participants ont recommandé de s'efforcer de tirer profit des nouvelles possibilités pour favoriser le

développement intellectuel parallèlement au développement durable.

19. La création de sociétés astronomiques amateurs dans les pays où il n'en existe pas encore est extrêmement importante et devrait être portée à l'attention des organismes susceptibles de la faciliter.

20. Les participants se sont félicités des décisions prises par l'Union internationale des télécommunications (UIT) à l'occasion de la Conférence mondiale des radiocommunications tenue à Istanbul en mai 2000 concernant l'extension des bandes de fréquence à l'intention de la communauté des astronomes.³

21. Les limites qui existent en matière d'utilisation de bandes de fréquence ont fortement entravé la diffusion de matériels de qualité destinés à l'enseignement des sciences spatiales et à l'examen régulier de ces matériels pour en garantir l'intérêt.

22. Les participants ont considéré que le projet d'unification des bases de données astronomiques de façon à mettre l'ensemble de ces données à la disposition des astronomes et des enseignants du monde entier présenterait un grand intérêt pour la communauté internationale.

23. Il faudrait encourager la communauté astronomique internationale à envisager de numériser et d'étalonner les informations des archives photographiques afin de les incorporer aux futurs programmes d'observatoire virtuel, on disposerait ainsi de séries chronologiques beaucoup plus longues puisque les photos les plus anciennes ont plus d'un siècle.

24. Les participants ont reconnu l'importance des activités élaborées par le Groupe de travail sur les sciences spatiales en Afrique depuis 1996 (voir A/AC.105/657, par. 19). Ils ont considéré que ces activités devraient être développées et ont vivement recommandé de continuer à fournir un appui au Groupe de travail.

25. Les participants ont constaté avec satisfaction les progrès réalisés en ce qui concerne le déroulement du projet de réseau de télescopes robotisés en pays d'Orient (NORT).

26. Ils se sont félicités du grand nombre de projets d'observatoires nationaux, qui témoigne d'un développement de l'intérêt pour l'astronomie en Asie

occidentale. Il serait très souhaitable que ces divers observatoires soient intégrés au projet NORT à l'avenir, car cela contribuerait au développement de l'enseignement et de la recherche en astronomie dans la région et encouragerait les activités en rapport avec l'astronomie à tous les niveaux de la société.

27. Les participants ont pris acte des activités menées par l'Union arabe de l'astronomie et des sciences de l'espace (AUASS), qui rassemble des individus et des groupes d'intérêt dans l'ensemble de la région d'Asie occidentale.

III. Résumé des exposés

A. Astronomie spatiale, missions en cours et tendances pour le prochain millénaire

28. L'astronomie spatiale permet l'observation à des longueurs d'onde auxquelles il n'est pas possible d'avoir accès depuis le sol. En collectant et en analysant le rayonnement émis par des phénomènes dans l'ensemble du spectre électromagnétique, les quatre "grands observatoires" de la NASA permettront de réaliser des études à de nombreuses longueurs d'onde différentes et à des périodes se recoupant, rendant ainsi possibles des observations simultanées. L'Observatoire Chandra, mis en service en juillet 1999, est destiné à l'observation des événements violents à haute température et des objets dans la bande de fréquence des rayons X pour mieux comprendre la nature des trous noirs, des quasars et des phénomènes qui se déroulent dans les gaz à haute température. Le télescope spatial dans l'infrarouge (SIRTF), qui sera lancé en décembre 2001, sera capable de réaliser des observations dans le proche infrarouge, à des longueurs d'onde comprises entre 3 et 180 microns, ainsi que des expériences de photométrie et de spectroscopie. Il sera principalement destiné à la détection et à l'étude des naines brunes et des superplanètes, de disques formés de débris provenant de protoplanètes et de planètes, des galaxies ultraluminescentes, des noyaux actifs de galaxies ainsi qu'à l'étude de l'univers peu après sa création. Ses détecteurs représentent une amélioration de plusieurs ordres de grandeur par rapport aux détecteurs infrarouges actuels.

29. Les missions astronomiques prévues pour 2005 et au-delà seront rendues possibles par les progrès technologiques. La Mission d'interférométrie spatiale fera ainsi appel à l'interférométrie optique, alors que le télescope spatial de prochaine génération utilisera de grands miroirs ultralégers et déformables ainsi que des instruments très sensibles. La Mission d'interférométrie spatiale déterminera la position et la distance d'étoiles avec une précision plusieurs centaines de fois plus grande que les instruments actuels, ce qui permettra de rechercher des planètes de la taille de la Terre en orbite autour d'étoiles proches. Elle utilisera également pour la première fois une technique permettant de bloquer la lumière émise par les étoiles brillantes de façon à pouvoir prendre des images des régions proches des étoiles. Le télescope spatial de prochaine génération, dont le lancement est prévu pour 2007, sera destiné à l'étude de la façon dont les galaxies évoluent, dont les étoiles et les systèmes planétaires se forment et évoluent et du cycle de la matière dans l'univers. Le télescope spatial dans l'infrarouge, la Mission d'interférométrie spatiale et le télescope spatial de prochaine génération font partie du programme "Origines" de la NASA, tandis que l'Observatoire Chandra fait partie du programme "structure et évolution de l'univers".

B. Équipes de conception de nouveaux projets

30. Le Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA a été l'origine du concept de recherche simultanée en créant en avril 1995 l'Équipe de conception de nouveaux projets (Team X).

31. Les objectifs de cette équipe sont les suivants:

a) Concevoir plus rapidement et mieux les missions du JPL et créer un processus d'étude permanent disposant de ses propres installations, équipements, procédures et outils de façon à parvenir aux meilleures propositions de projets possibles;

b) Constituer une base de données sur les besoins initiaux de la mission, la mettre à jour en permanence et l'utiliser ultérieurement pour les phases suivantes du projet;

c) Former des ingénieurs expérimentés à devenir des généralistes de mission.

32. L'Équipe permet aux chercheurs principaux des missions et à leurs équipes de planifier efficacement de nouvelles propositions de missions.

33. L'Équipe se compose d'une quinzaine de spécialistes de la conception de mission plus un chef d'équipe et un documentaliste. Chaque ingénieur qui y est affecté est responsable de la présentation du stade de développement de sa discipline et des intérêts qu'elle présente. Le chef d'équipe assure la coordination et la direction de l'étude, et est le principal contact avec le client avant, pendant et après les sessions d'étude. Le documentaliste constitue les fichiers électroniques, enregistre tout débat technique important et s'assure que les résultats de l'étude sont correctement archivés.

34. L'Équipe réalise les études de faisabilité de mission et des examens de faisabilité. Chaque étude dure d'une à deux semaines et donne lieu à un rapport de 30 à 80 pages dans lequel figurent les listes de matériels, les bilans de masse et énergétiques, la description des systèmes et sous-systèmes ainsi que le coût estimatif de la mission. Les examens consistent en une étude de un à deux jours d'une proposition, d'une demande d'information, d'une demande de proposition ou d'une activité similaire. Chaque membre de l'Équipe résume son point de vue au cours de la dernière heure et les débats donnent lieu à un bref rapport.

35. Au cours de l'atelier, une vidéoconférence de deux heures et demie consacrée à la préparation d'une mission satellite vers la planète Mars a été organisée avec l'Équipe du JPL à Pasadena.

C. Exploration du Soleil

36. Dans l'exploration du Soleil, les instruments embarqués jouent un rôle important car ils permettent d'observer le rayonnement électromagnétique bloqué par l'atmosphère terrestre et qui ne parvient pas donc jusqu'aux stations au sol. Les émissions de particules du Soleil, et en particulier le vent solaire, ne peuvent être observés que par des engins spatiaux se trouvant en dehors de la magnétosphère. Au début des années 70, l'essentiel des caractéristiques générales de l'atmosphère solaire au-dessus de la photosphère et du vent solaire ont été définies grâce aux observations réalisées par un certain nombre de satellites de recherche scientifique. L'observatoire solaire orbital

(OSO) et les télescopes du Skylab de la NASA ainsi que les satellites de détection du plasma et des particules d'autres agences spatiales ont joué un rôle clef dans la connaissance de la couronne solaire et le rôle qu'elle joue dans la production du vent solaire.

37. Depuis lors, plusieurs missions ont été conçues afin d'étudier la physique des phénomènes précédemment observés. Ainsi, la Mission d'étude du maximum solaire (MMS) a permis pendant les années 70 et 80 d'étudier les éruptions solaires et a conduit à la découverte de la variation de l'éclaircissement énergétique solaire total.

38. Depuis 1991, le satellite Yohkoh étudie l'atmosphère solaire dans le domaine des rayons X et des rayons gamma. Il a déjà observé et obtenu des images de la totalité d'un cycle solaire.

39. Depuis 1996, l'observatoire ESA/NASA du Soleil et de l'héliosphère (SOHO) effectue l'étude la plus complète à ce jour du Soleil au moyen d'un ensemble coordonné d'instruments qui permettent d'étudier la structure des couches profondes du Soleil ainsi que la dynamique solaire par héliosismologie (oscillations solaires), l'irradiation solaire, les phénomènes physiques qui se déroulent dans l'atmosphère solaire et qui, en chauffant la couronne, donnent naissance au vent solaire (images et spectres dans l'ultraviolet extrême), la composition de l'atmosphère solaire chaude et du vent solaire (spectroscopie de masse et de charge) et enfin la distance jusqu'à laquelle le vent solaire forme l'héliosphère (cartographie H Lyman-alpha du Soleil). Depuis 1998, les images à très haute résolution et à différentes fréquences fournies par la Mission d'études de la région de transition et d'exploration de la couronne solaire (TRACE) ont permis de compléter les observations réalisées par le satellite SOHO de l'atmosphère solaire dans l'extrême ultraviolet.

D. Planète Mars

40. Le Mars Global Surveyor (MGS) lancé par la NASA en novembre 1996 a atteint Mars en septembre 1997. Au cours des 18 mois qui ont suivi, plusieurs périodes d'aérofreinage et de collectes de données se sont succédées, le satellite étant placé sur une orbite quasi polaire, pratiquement circulaire, d'une période de deux heures pour dresser la carte de la planète. Il se trouve actuellement à une altitude moyenne de 400

kilomètres au-dessus de la surface de la planète. L'engin a commencé à dresser la carte de l'ensemble de la planète en mars 1999 au moyen de divers instruments, à savoir un magnétomètre/réfectomètre à électrons, un spectromètre d'émissions thermiques, un altimètre laser et une caméra. Un an après, ces instruments continuent de révéler des phénomènes surprenants en ce qui concerne l'évolution de la planète Mars.

41. Par exemple, le magnétomètre/réfectomètre à électron a permis d'identifier des régions caractérisées par des bandes de polarité contraire dont l'intensité peut ponctuellement dépasser 1 500 nanotesla. Dans la région du Sirenum, ces anomalies linéaires s'étendent sur des distances qui peuvent atteindre 2 000 kilomètres et confirment le fait que la dynamo interne de Mars a cessé de fonctionner très tôt dans l'histoire de la planète. Le spectromètre d'émissions thermiques mesure l'énergie émise par Mars dans la partie centrale de l'infrarouge thermique du spectre électromagnétique. Il a recueilli plus de 44 millions de spectres de la planète d'une résolution allant jusqu'à trois kilomètres, dont l'interprétation a révélé la présence de façon isolée d'hématites qui ont peut-être été formées dans des masses d'eau. En outre, il a révélé des différences fondamentales entre la composition des roches volcaniques qui se trouvent dans les plaines septentrionales (qui sont des roches andésitiques) et celles des roches des hauts plateaux du sud (roches basaltiques), ce qui donne de nouvelles informations quant à l'évolution de la planète.

42. L'altimètre laser a réalisé plus de 330 millions de mesures de la topographie martienne au cours de la première année de cartographie. Les résultats de ces mesures révèlent une pente en direction des basses terres du nord, l'existence du volcan le plus élevé du système solaire avec une altitude de 26 kilomètres (Olympus Mons) et l'un des bassins d'impact les plus grands connus à ce jour avec 2 100 kilomètres de diamètre et 9 kilomètres de profondeur (Hellas). Ces données topographiques jouent un rôle important dans les études de gravité, qui ont confirmé la présence dans le nord d'une couche superficielle plus fine et plus dure dont l'extension vers le sud ne présente pas de corrélation satisfaisante avec la dichotomie topographique générale de la planète. En outre, la signature de la gravité dans la région de Tharsis ne fait pas apparaître le volcan Olympus Mons, ce qui confirme la relative jeunesse de ce dernier. De plus, les

signatures associées à la région de Chryse montrent que les parties enterrées des grands canaux s'enfoncent profondément dans les plaines du nord. La caméra, enfin, a réalisé des images de nombreuses parties de la surface de Mars à des résolutions pouvant atteindre 2 à 3 mètres par pixel. Jusqu'à aujourd'hui, plus de 20 000 de ces images ont été mises à disposition du public et révèlent d'étonnantes diversités de formes, allant de paysages polaires bizarres à de vastes zones modelées par le vent ou encore des vallées profondément modifiées et creusées par les eaux qui se sont formées au cours d'une longue période.

43. La mission de cartographie du Mars Global Surveyor devrait durer jusqu'en février 2001 et les données recueillies devraient permettre de mieux comprendre comment la planète a évolué au cours du temps. Tout au long de la mission, l'engin a été dirigé par le JPL.

E. Le concept d'observatoire virtuel

44. Les progrès technologiques dans le domaine des télescopes et des instruments d'observations réalisés au cours des 10 dernières années, combinés au développement exponentiel des capacités des ordinateurs et des moyens de télécommunication, ont profondément modifié la nature de la recherche en astronomie. Des études à grande échelle du ciel depuis l'espace comme depuis le sol sont désormais entreprises à des longueurs d'ondes allant des ondes radio aux rayons X, offrant ainsi la possibilité d'obtenir pour la première fois une image panchromatique de l'univers. Ces nouveaux moyens permettent désormais d'entreprendre l'étude d'un "observatoire virtuel" pour explorer les archives accumulées et disposer d'un nouvel instrument de recherche.

45. L'observatoire virtuel permettra aux astronomes non seulement d'avoir accès à des ensembles de données de l'ordre du téraoctet et du pentaoctet mais également d'utiliser tout un ensemble d'instruments pour exploiter ces données.

46. La réalisation impliquera une nouvelle collaboration entre astronomes et informaticiens, sera l'occasion de renforcer la collaboration avec les chercheurs d'autres disciplines connaissant les mêmes problèmes et favorisera le développement de l'enseignement. Il devra être ouvert et permettra à tous d'avoir accès aux archives.

F. Archives des missions spatiales

47. Le Centre de données astronomiques de Strasbourg (CDS) qui se trouve à l'Observatoire astronomique de Strasbourg (France) collecte et diffuse dans le monde entier des données astronomiques et des informations connexes.

48. Le CDS abrite la base de données astronomiques SIMBAD (Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data), base mondiale de référence pour l'identification d'objets astronomiques.

49. Les objectifs du CDS sont les suivants:

a) Collecter toute information utile concernant des objets astronomiques à partir des données d'observations réalisées depuis le sol ou l'espace et produites sous forme numérique par des observatoires du monde entier;

b) Affiner ces données au moyen d'évaluation critique et de comparaison;

c) Diffuser les résultats auprès de la communauté des astronomes;

d) Mener des recherches à partir des données archivées.

50. Le CDS a signé des accords d'échange internationaux avec le Centre de données astrophysiques de la NASA; l'Observatoire astronomique national japonais (Tokyo); l'Académie russe des sciences; le Conseil pour la recherche sur la physique des particules et l'astronomie (PPARC) du Royaume-Uni; l'Observatoire de Beijing; l'Université de Porto Allegre (Brésil); l'Université de La Plata (Argentine); et le Centre interuniversitaire indien pour l'astronomie et l'astrophysique.

51. Le CDS joue ou a joué un rôle dans la plupart des principales missions spatiales en rapport avec l'astronomie, qu'il s'agisse de produire des guides et des catalogues d'étoiles (satellite européen pour l'observation des rayons X (EXOSAT), satellite d'astronomie dans l'infrarouge (IRAS), Hipparcos, télescope spatial Hubble, observatoire spatial dans l'infrarouge (ISO) et satellite d'astronomie en rayons X (SAX)), de participer à l'identification de sources observées (Hipparcos, Tycho et ROSAT), d'organiser l'accès aux archives (satellite international

d'exploration dans l'ultraviolet (IUE)), etc. Il participe avec l'équipe d'étude des hautes énergies de l'Observatoire astronomique de Strasbourg à la mission Miroirs multiples pour l'étude des sources du rayonnement X.

G. Système de données astrophysiques

52. Le système de données astrophysiques de la NASA (ADS) permet d'avoir librement accès via Internet à des résumés et à des articles numérisés dans le domaine de l'astronomie archivés dans trois bases de données: a) la base de données physiques, qui renferme près de 900 000 références; b) la base de données astronomiques, qui compte près de 550 000 références; et c) la base de données sur les instruments, qui contient près de 600 000 références. Les résumés peuvent être recherchés au moyen d'un système de recherche sophistiqué.

53. Les articles numérisés dans le système sont de plus en plus nombreux et représentent aujourd'hui près d'un million de pages. Toutes les grandes revues astronomiques et la plupart des revues de moindre importance y sont archivées depuis le numéro 1. Les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* sont actuellement numérisés en remontant progressivement jusqu'au numéro 1. Il s'agit de la dernière grande revue qui sera intégralement accessible en ligne. En coopération avec un projet de conservation mis en œuvre par les bibliothèques de l'Université de Harvard, l'ADS est actuellement en train de numériser des microfilms d'anciens ouvrages et publications sur l'observation du ciel, ce qui permettra ainsi d'avoir accès à un vaste fonds d'ouvrages historiques.

H. Réseaux de télescopes astronomiques optiques

54. La construction de télescopes de plus en plus grands a conduit à engager le débat quant à l'avenir d'un grand nombre de petits télescopes. Toutes les observations scientifiques ne peuvent pas être réalisées au cours d'un petit nombre de nuits au moyen d'un télescope géant. Parallèlement, grâce aux progrès en matière d'automatisation et de communications, il est aujourd'hui possible d'élaborer des programmes d'observation plus efficaces et moins longs, permettant d'obtenir et de traiter de très vastes ensembles de données et à un nombre beaucoup plus grand de scientifiques de faire un véritable travail de recherche.

Les astronomes amateurs et les étudiants deviennent ainsi membres de la communauté scientifique et peuvent contribuer de manière significative aux travaux engagés dans certains domaines de l'astrophysique. Cette évolution est particulièrement importante pour l'étude des étoiles variables comme pour la recherche d'objets près de la Terre et d'autres événements particuliers.

55. Dans le cadre de l'Union arabe de l'astronomie et des sciences de l'espace, le projet NORT propose, dans un premier temps, de compléter l'enseignement universitaire de l'astrophysique et des sciences spatiales par une formation à l'utilisation de télescopes dans des observatoires nationaux équipés de télescopes de 60 cm à 1 m de diamètre. Dans un deuxième temps, le projet envisage la constitution d'un réseau de télescopes robotisés de 2 m de diamètre destinés principalement à l'étude par photométrie, spectrographie et polarimétrie des étoiles variables et des objets situés à proximité de la Terre.

56. Le projet NORT sera ouvert à la coopération avec des télescopes similaires dans d'autres régions. Lors de l'atelier, des projets d'observatoire astronomique optique et des résultats obtenus par de tels observatoires ont été présentés par les pays suivants: Afrique du Sud, Algérie, Arabie saoudite, Éthiopie, Inde, Jordanie, Liban, Malaisie, Maurice, Pakistan, Paraguay, Pérou, République arabe syrienne, Togo et Tunisie.

I. Programmes d'astrophysique pratique (Hands-on astrophysics)

57. Le programme d'astrophysique pratique (Hands-on astrophysics) (HOA) de l'American Association of Variable Star Observers (AAVSO) destiné aux étudiants de niveau universitaire en sciences, mathématiques et informatique, qu'il fait directement participer avec leurs enseignants, à la recherche scientifique, repose sur l'exceptionnelle base de données sur les étoiles variables de l'AAVSO.

58. Il aide les étudiants à acquérir des compétences essentielles en sciences et à mieux comprendre certaines notions d'astronomie de base. Il s'agit d'un programme pluridisciplinaire qui leur permet de suivre l'ensemble du processus scientifique tout en travaillant sur des données réelles. Il permet également de présenter aux étudiants ce que sont les étoiles variables

et leur importance pour les astronomes et de leur transmettre les informations et les compétences dont ils ont besoin pour étudier le comportement de ces étoiles ou devenir les observateurs amateurs d'étoiles variables.

59. Les étudiants acquièrent les compétences nécessaires pour effectuer les observations, analyser les données qu'ils ont recueillies au moyen de graphes et de statistiques, réaliser des prévisions et comparer les valeurs prévues avec celles effectivement observées et mettre au point des modèles mathématiques sophistiqués. L'étude des étoiles variables est réalisée au moyen des logiciels, diagrammes, diapositives et vidéos qui accompagnent le manuel destiné aux enseignants et aux étudiants. Les étudiants sont également en mesure d'avoir accès à la base de données de l'AAVSO et de partager leurs recherches et leurs observations avec d'autres étudiants par l'intermédiaire d'un site Internet spécialement créé pour ce projet.

60. L'étude des étoiles variables est particulièrement bien adaptée à l'enseignement des sciences, des mathématiques et de l'informatique. Les étudiants peuvent observer ces étoiles et en analyser les variations d'intensité en utilisant les informations de la base de données, qui renferme 600 000 observations, et le programme d'information fourni. Le volume de données disponibles et les techniques mathématiques utilisées pour le traitement de ces données fournissent des résultats d'une précision raisonnable. Les étudiants s'aperçoivent alors que leurs observations peuvent être fiables et que leurs données sont suffisamment satisfaisantes pour être utilisées par des astronomes professionnels.

61. En 1999, l'AAVSO a fourni le matériel nécessaire au programme à un certain nombre d'observatoires dont la création faisait suite aux ateliers ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales ou qui bénéficiaient d'un appui de ces ateliers (Honduras, Jordanie, Maroc, Paraguay, Philippines et Sri Lanka) pour être utilisé avec les télescopes comme dans les programmes d'enseignement.

J. Enseignement de l'astrophysique dans le cadre des programmes universitaires de physique: modules d'enseignement conçus pour la série d'ateliers ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales

62. Un module d'enseignement a été conçu pour la série d'atelier ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales. Ce module présente toute une gamme de problèmes d'astrophysique, dont un ou plusieurs peuvent être choisis et utilisés dans le cadre de l'enseignement consacré à la mécanique élémentaire, à la chaleur et aux rayonnements, à la théorie cinétique, à l'électricité ou encore à des cours d'un niveau plus élevé. Il permet ainsi d'introduire l'astrophysique dans l'enseignement de la physique à l'université, en particuliers dans les pays en développement.

63. Les problèmes d'astrophysique qui sont présentés ont été retenus car ils constituent un prolongement à la fois intéressant et stimulant sur le plan intellectuel de l'enseignement physique, et doivent permettre de tester la compréhension qu'ont les étudiants de phénomènes physiques en leur donnant l'opportunité d'appliquer leurs connaissances à des nouveaux domaines et de faire appel à leur imagination. Chaque problème est accompagné d'un bref descriptif de la question, afin que le professeur de physique puisse l'expliquer à ses étudiants. Les problèmes plus complexes débutent par une brève introduction des mécanismes physiques en jeu.

64. Le module d'enseignement est divisé en plusieurs grands chapitres, à savoir: les orbites et la troisième loi de Kepler; le système solaire; les étoiles à neutrons et les amas de galaxies; le rayonnement thermique; le cycle de vie des étoiles; les champs magnétiques cosmiques et enfin l'astrophysique des hautes énergies.

65. Tous les problèmes ont des solutions mathématiques qui peuvent être facilement traduites en concepts physiques. Pour de nombreux problèmes, la solution est plus courte que l'énoncé du problème.

66. L'astrophysique est une science intéressante non seulement parce qu'elle fait appel à l'imagination mais également parce qu'elle est très fortement pluridisciplinaire: elle a des liens avec la physique nucléaire, la physique des fluides et des plasmas, la physique de l'état solide, la théorie du chaos, la chimie

organique, la relativité restreinte et la relativité générale, et d'autres disciplines encore. Les étudiants sont toutefois formés à résoudre des problèmes précis, dont la variété permet de leur donner une vue d'ensemble de la science et constitue un point de départ vers l'étude de problèmes astronomiques plus généraux. En règle générale, le texte qui accompagne chaque problème est destiné à replacer ce dernier dans une problématique plus générale.

L'Astrophysique, science de pointe

67. Mêmes les étudiants peuvent poser de bonnes questions susceptibles d'ouvrir de nouvelles voies de recherche. Certaines observations réalisées par le télescope spatial Hubble ont été demandées par des écoliers qui en étudieront les résultats. Le fait que l'astrophysique soit une science de pointe en rend l'enseignement difficile. Les astrophysiciens reconnaissent rapidement qu'ils sont incapables de répondre à certaines questions posées par des étudiants et en viennent parfois à suggérer d'étudier le problème posé ensemble. Il ne fait pas de doute que les problèmes qui accompagnent le module d'enseignement seront difficiles à présenter car les étudiants poseront inévitablement des questions qui vont bien au-delà du problème spécifique à résoudre et de l'explication qui l'accompagne. Cependant, l'intérêt de ces questions compense largement toute gêne que pourrait ressentir le professeur du fait de son incapacité à y répondre. De nombreux étudiants en physique ne font que mémoriser leurs cours. L'astrophysique les fait sortir de ce cycle de mémorisation et les amène à réfléchir de façon autonome. Le fait qu'un étudiant pose des questions est le signe de sa progression.

Didacticiels

68. Il ne faut pas commencer l'étude théorique d'un nouveau phénomène en s'installant devant un ordinateur mais en déterminant à quelle physique on a à faire. Il est essentiel de choisir un petit nombre de paramètres et de construire un nombre minimum d'équations analytiques qui représentent l'essentiel de la physique. C'est ce que l'on appelle souvent des calculs "au dos d'une enveloppe". En astrophysique, on commence par étudier les formes d'énergie en jeu sans s'inquiéter de savoir avec précision quelles sont les forces à l'origine de ces énergies. Il faut déterminer s'il s'agit d'énergie gravitationnelle, nucléaire, cinétique

ou électromagnétique ou encore s'il y a échange entre deux formes d'énergie et quels sont les principaux paramètres (tels que la taille et la masse de l'objet) qui les influencent. Parfois, on peut trouver une réponse à ces questions en procédant à une analyse dimensionnelle. Peu importe que les coefficients numériques utilisés dans ces estimations soient faux d'un facteur de deux ou trois. Plusieurs des problèmes contenus dans le module d'enseignement mettent l'accent sur les ordres de grandeur et l'analyse dimensionnelle. En particulier, certains demandent aux étudiants de résoudre des expressions différentielles simples qui font explicitement ressortir les principaux paramètres physiques.

Apprentissage en groupes

69. La science de pointe est une aventure commune. Le débat fait partie intégrante de l'enseignement et de la recherche en astrophysique. Si nécessaire, les problèmes contenus dans le module d'enseignement peuvent être présentés et résolus dans le cadre d'un enseignement didactique, mais ils ont été choisis et décrits de façon à pouvoir être étudiés et résolus par de petits groupes d'étudiants, de préférence pendant les heures de cours. Les étudiants devraient être regroupés par deux, trois ou quatre en fonction des places disponibles.

70. Le travail en groupe prend beaucoup de temps: un enseignant peut présenter trois problèmes pendant le temps nécessaire à des groupes d'étudiants pour en examiner un seul. Par rapport à un enseignement purement didactique, certains aspects du programme peuvent ne pas être traités par manque de temps. Cependant, les étudiants comprendront les problèmes qu'ils ont à résoudre comme le constatera leur professeur, et cela leur sera à long terme beaucoup plus utile que s'ils avaient étudié un programme plus complet mais qu'ils n'auraient mémorisé qu'imparfaitement.

71. Le module d'enseignement est actuellement étudié par les observatoires astronomiques créés à la suite des ateliers ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales ou bénéficiant d'un soutien de la part de ces ateliers dans les pays suivants: Allemagne, Colombie, Costa Rica, Égypte, France, Honduras, Inde, Jordanie, Maurice, Nigéria, Paraguay, Philippines et Sri Lanka.

IV. Observatoire spatial mondial

72. L'ONU – par l'intermédiaire de son Bureau des affaires spatiales – et l'Agence spatiale européenne organisent en commun une série d'ateliers sur les sciences spatiales fondamentales depuis 1991 (voir par. 3). L'application des recommandations adoptées à l'issue de chaque atelier a permis de renforcer l'infrastructure scientifique dans les pays en développement. Une des propositions émanant des participants concerne le concept d'observatoire spatial mondial, c'est-à-dire l'envoi d'un satellite pour l'étude de l'ultraviolet avec une participation internationale, y compris de pays en développement.⁴

73. Les résultats de l'étude menée par l'Agence spatiale européenne dans le cadre de son Programme d'études générales (planification à long terme) en vue d'évaluer une telle mission ont été présentés aux participants et montrent que celle-ci est réalisable à une échéance d'environ six ans. Une mission commune à laquelle participeraient des pays en développement comme des pays plus avancés serait clairement plus productive qu'une mission qui n'intéresserait que les pays en développement. Du fait de son objectif plus large, elle profiterait à l'ensemble de la communauté mondiale des chercheurs travaillant dans le domaine des sciences spatiales fondamentales, ce qui contribuerait grandement à en assurer la pérennité. Le projet prévoit d'embarquer sur un satellite placé au point de Lagrange L2. un télescope de 1,7 mètre de diamètre, ainsi que des spectrographes et des imageurs. L'étude réalisée par l'Agence spatiale européenne a montré qu'il était possible d'engager le projet maintenant avec un lancement prévu en 2006. Cela suppose cependant d'étudier d'urgence comment organiser rapidement une vaste participation au projet et de poursuivre l'étude des aspects pratiques de son exécution comme de rechercher des sources de financement. Les prochains ateliers de la série constitueront une contribution importante à l'étude des aspects pratiques associés à la mise en œuvre d'un projet faisant appel à une vaste participation multinationale, en particulier des pays en développement, aussi bien lors de la phase d'élaboration que de la phase opérationnelle de cette mission.

Notes

- ¹ Voir *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 19-30 juillet 1999* (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.00.I.3) chap. I, résolution 1, par. 1 e) ii) et chap. II, par. 409 d) i).
- ² *Documents officiels de l'Assemblée générale, cinquante-quatrième session, Supplément n° 20 et rectificatif (A/54/20, et Corr.1), par. 52.*
- ³ Voir J. Andersen, "Astronomy and the degrading environment", *Science*, vol. 288, 21 avril 2000, p. 443 et 444.
- ⁴ Voir *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies ...*, op. cit., chap. II, par. 207.

Biographie

1. *Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique*

Rapport du premier Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales (Bangalore, Inde, 30 avril-3 mai 1991) (A/AC.105/489)

Rapport du deuxième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales (San José et Bogota, 2-13 novembre 1992) (A/AC.105/530)

Rapport du troisième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales (Lagos, 18-22 octobre 1993) (A/AC.105/560/Add.1)

Rapport du quatrième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales (Le Caire, 27 juin-1^{er} juillet 1994) (A/AC.105/580)

Rapport du cinquième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: des petits télescopes aux missions spatiales (Colombo, 11-14 janvier 1996) (A/AC.105/640)

Rapport du sixième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: astronomie au sol et dans l'espace (Bonn, 9-13 septembre 1996) (A/AC.105/657)

Rapport du septième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: petits télescopes astronomiques et satellites pour l'enseignement et la recherche (Tegucigalpa, 16-20 juin 1997) (A/AC.105/682)

Rapport du huitième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: exploration scientifique à partir de l'espace (Mafraq, Jordanie, 13-17 mars 1999) (A/AC.105/723)

Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 19-30 juillet 1999, (A/CONF.184/6), numéro de vente: F.00.I.3

2. *Documents présentés lors du neuvième Atelier ONU/Agence spatiale européenne sur les sciences spatiales fondamentales: réseaux de satellites et de télescopes, outils d'une participation mondiale à l'étude de l'univers*

Agence spatiale européenne. Ultraviolet astrophysics beyond the IUE final archive; proceedings of the Conference, held at Sevilla, Spain, 11-14 November 1997. W. Wamsteker and R. Gonzalez Riestra, eds.

American Association of Variable Star Observers. Hands-on astrophysics. Cambridge (États-Unis), 1998.

Assessment study report WSO/UV, CDF-05(A), May 2000.

Astronomy and astrophysics in the new millennium; panel reports. Washington, National Academy Press, 2000.

Bahcall, J. N., et J. P. Ostriker, eds. Unsolved problems in astrophysics, (États-Unis) Princeton University Press, 1997.

National Research Council. The decade of discovery in astronomy and astrophysics. Washington, National Academy Press, 1991.

Research and Education in basic space science; the approach pursued in the UN/ESA workshops. Document de travail présenté au Colloque des spécialistes de la Fédération astronautique internationale consacré à l'enseignement des sciences spatiales, Bischenberg (France) 3-5 avril 2000.

Spaceguard Foundation. Spaceguard integrated system for potentially hazardous object survey: final report. ESOC Contract N° 13265/98/D/IM, 28 April 2000.

Wentzel, D. G. Astrophysics for university physics courses. College Park, University of Maryland (États-Unis).

Working papers; astronomy and astrophysics panel reports. Washington, National Academy Press, 1991.

3. *Adresses des observatoires inaugurés avec l'aide de la série d'ateliers ONU/ESA sur les sciences spatiales fondamentales ou bénéficiant d'un appui de cette série d'ateliers*

Centro Internacional de Física, Universidad de los Andes, Apartado Postal 49490, Bogota, (Colombie).

<http://aether.lbl.gov/www/projects/GEM/>

National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Kottamia Observatory, Helwan, Le Caire.

<http://www.sti.sci.eg/scrci/nriag.html>

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Apartado Postal 4432, Tegucigalpa M.D.C.,

<http://www.unah.hn>

Higher Institute of Astronomy and Space Sciences, Al al-Bayt University, P.O. Box 130302, Mafraq, Jordanie.

<http://www.aabu.edu.jo/>

Universidad Nacional de Asunción, Ciudad Universitaria, San Lorenzo, Paraguay.

<http://www.una.py/>

Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration, Asia Trust Building, 1424 Quezon Avenue, Quezon City, The Philippines.

<http://w3.itri.org.tw/k0000/apec/Philipin/P14.htm>.

Arthur C. Clarke Institute for Modern Technologies, Katubedda, Moratuwa, Sri Lanka.

<http://www.slt.lk/accimt/>
