



# Assemblée générale

Distr.: Générale  
15 janvier 2001

Français  
Original: Anglais

## Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

### **Rapport de l'atelier ONU/Agence spatiale européenne/ Comité de la recherche spatiale sur les techniques de réduction et d'analyse des données satellitaires (Dehra Dun, Inde, 27-30 novembre 2000)\***

#### Table des matières

<i>Chapitre</i>	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
I. Introduction	1-11	3
A. Historique et objectifs . . . . .	1-7	3
B. Organisation et programme . . . . .	8-11	4
II. Résumé des mémoires . . . . .	12-47	4
A. Sciences spatiales et atmosphériques . . . . .	12-18	4
1. Techniques d'analyse de Fourier et d'analyse par ondelettes . . . . .	12	4
2. Extraction de données sur l'ozone à partir d'ensembles de données satellitaires . . . . .	13-14	5
3. Extraction de données temporelles sur les sources de rayons X à partir de l'expérience indienne d'astronomie X embarquée sur le satellite IRS-P3 . . . . .	15	5
4. Extraction et analyse de spectres ultraviolets stellaires à partir des données du satellite international d'exploration dans l'ultraviolet . . . . .	16-18	6

\* La publication du présent rapport a été retardée de plusieurs semaines par le fait que les auteurs ont dû mettre au point des résumés des mémoires qu'ils ont présentés à l'atelier.

---

B.	Téledétection et météorologie . . . . .	19-46	7
1.	Réception, traitement automatique et distribution des données par le Centre asiatique de recherche sur la téledétection . . . . .	19-25	7
2.	Mise au point de méthodes de correction géométrique des images satellitaires multirésolution temporelles . . . . .	26-29	8
3.	Gestion de ressources naturelles au moyen de téledétection par satellite . . . . .	30-31	9
4.	Acquisition et traitement des images satellitaires . . . . .	32	10
5.	Imagerie satellitaire et réduction des données radiométriques pour des applications météorologiques . . . . .	33-36	10
6.	Extraction de paramètres utiles à partir de données satellitaires brutes . . . . .	37-38	11
7.	Application de la téledétection au Département général de l'administration des terres du Viet Nam . . . . .	39	12
8.	Traitement des données radar aux fins d'applications océanographiques . . . . .	40-44	12
9.	Conception et construction d'une petite station terrestre (lecture directe) et d'un réseau informatique pour la réception, le traitement et la distribution des images S-VISSR du satellite météorologique géostationnaire GMS-5 . . . . .	45-46	13
C.	Téledétection et systèmes d'information géographique (SIG) . . . . .	47	14

## **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) a recommandé, notamment dans la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain, que les activités du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales encouragent la collaboration entre les États Membres aux plans régional et international, en mettant l'accent sur l'amélioration des connaissances et des compétences dans les pays en développement.<sup>1</sup>

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 prévu pour 2000<sup>2</sup> puis, dans sa résolution 54/67 du 6 décembre 1999, l'Assemblée générale a approuvé le Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales pour 2000.

3. Comme suite à la résolution 54/67 et conformément à la recommandation d'UNISPACE III, l'atelier ONU/Agence spatiale européenne (ESA)/Comité de la recherche spatiale (COSPAR) sur les techniques de réduction et d'analyse des données satellitaires a été organisé par l'ONU, l'ESA, le COSPAR et le Gouvernement indien au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique et à l'Institut indien de télédétection (IIRS) à Dehra Dun (Inde) du 27 au 30 novembre 2000. L'Organisation indienne de recherche spatiale (ISRO) a accueilli l'atelier au nom du Gouvernement indien.

4. Cet atelier avait pour objectif principal d'offrir une tribune à des enseignants et à des scientifiques que l'analyse et l'interprétation des données satellitaires et l'accès à ces données intéressent. Bien que les applications scientifiques des données satellitaires puissent concerner un large éventail de sujets allant de la surveillance de l'environnement à l'astronomie et de la météorologie à la télédétection, les principales techniques utilisées pour traiter ces données avec les logiciels voulus sont pour l'essentiel communes à toutes ces activités. Les participants ont examiné les techniques de réduction et d'analyse qui permettaient de faire en sorte que les immenses banques de données satellitaires qui existent dans le monde entier puissent être utilisées par un plus grand nombre de scientifiques dans les pays en développement.

5. L'atelier a donné lieu à des échanges entre les scientifiques qui produisent des données satellitaires pour diverses applications scientifiques et ceux – en particulier dans les pays en développement – qui s'occupent de l'accès à ces données et de leur traitement, de leur analyse et de leur interprétation pour les besoins de recherches scientifiques et d'applications pratiques dans leurs domaines de compétence. Il a donné aux participants la possibilité de se familiariser avec les outils permettant de consulter, d'analyser et d'interpréter à diverses fins éducatives et scientifiques les données obtenues au moyen de systèmes d'acquisition numériques. Les principes fondamentaux et les méthodes modernes ont été présentés et illustrés par des exemples concrets d'opérations courantes de consultation, d'analyse et d'interprétation de données. L'atelier a également encouragé la communication entre des spécialistes possédant un large éventail de compétences en matière de conception et d'utilisation de logiciels pour la gestion des données dans les

domaines de la télédétection, de la météorologie satellitaire, de la prévention des catastrophes naturelles et des sciences spatiales.

6. L'atelier a également permis de commencer à préparer le prochain atelier de cette série, qui sera organisé du 25 au 29 mars 2001 par le Gouvernement de la République arabe syrienne à l'Organisation générale de télédétection (GORS) à Damas.

7. Le présent rapport a été établi en vue d'être soumis à la quarante-quatrième session du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et à la trente-huitième session du Sous-Comité scientifique et technique en 2001. Les participants ont informé les autorités nationales compétentes (gouvernements, universités et établissements de recherche) des connaissances qu'ils avaient acquises et des travaux qui avaient été effectués lors de l'atelier.

## **B. Organisation et programme**

8. L'atelier a eu lieu au Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique et à l'IIRS à Dehra Dun (Inde) du 27 au 30 novembre 2000. Il a réuni 59 chercheurs et spécialistes des applications de 21 pays (Bangladesh, Bhoutan, Cambodge, Chine, Espagne, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Japon, Kirghizistan, Mongolie, Myanmar, Népal, Ouzbékistan, Philippines, République arabe syrienne, République de Corée, République démocratique populaire lao, Sri Lanka, Thaïlande et Viet Nam) ainsi que de l'Agence spatiale européenne (ESA) et de l'ONU.

9. L'ONU et l'ESA ont fourni un appui financier pour couvrir les frais de voyage par avion et de subsistance encourus par 16 participants de pays en développement pour se rendre en Inde. L'ISRO a pris à sa charge la pension complète et les transports sur place de ces participants et a également fourni des locaux et du matériel de conférence pour l'atelier.

10. Le programme de l'atelier a été élaboré conjointement par le Bureau des affaires spatiales et l'ISRO. Les mémoires qui ont été présentés portaient sur les techniques de réduction et d'analyse des données satellitaires et de traitement des images utilisées dans les domaines de la télédétection, de la météorologie et des sciences spatiales. Des informations sur l'accès aux données satellitaires ainsi que sur l'interprétation et l'archivage de ces données ont été présentées et des démonstrations d'outils logiciels appropriés ont été faites.

11. Des déclarations liminaires ont été faites par des représentants de l'ISRO (également au nom du COSPAR), du Bureau des Nations Unies pour les affaires spatiales, de l'ESA, du Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique, de l'IIRS et de l'Agence nationale de télédétection de l'Inde.

## **II. Résumés des mémoires**

### **A. Sciences spatiales et atmosphériques**

#### **1. Techniques d'analyse de Fourier et d'analyse par ondelettes**

12. L'analyse de Fourier et l'analyse par ondelettes sont des outils mathématiques qui sont utilisés pour l'élimination du bruit, la compression des signaux, la détection

d'objets, le filtrage, l'amélioration et la reconnaissance d'images et l'analyse de séries chronologiques en télédétection, en météorologie, en télécommunication et en sciences spatiales. La transformée de Fourier est une sorte de prisme mathématique qui décompose une fonction en un spectre de fréquences, à la manière d'un prisme qui décompose la lumière en un spectre de couleurs. Elle transforme une fonction où la variable est le temps (ou l'espace) en une nouvelle fonction où la variable est la fréquence. Alors que l'analyse de Fourier transforme un signal à une variable (temporelle ou spatiale) en une autre fonction à une variable (fréquence), l'analyse par ondelettes donne une transformée à deux variables (temps et fréquence). L'objectif des deux transformées est de convertir l'information contenue dans un signal en coefficients pouvant être manipulés, stockés, transmis, analysés, comprimés ou utilisés pour reconstituer le signal initial. Des logiciels et des données astrophysiques disponibles sur Internet ont été utilisés pour faire des démonstrations de l'application de l'analyse de Fourier et de l'analyse par ondelettes à l'analyse de séries chronologiques.

## **2. Extraction de données sur l'ozone à partir d'ensembles de données satellitaires**

13. Le rôle important que joue l'ozone atmosphérique dans l'absorption du rayonnement solaire ultraviolet dangereux et dans la chimie de l'atmosphère est bien connu. On sait également qu'il s'agit d'un gaz à effet de serre. La réduction considérable de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique au printemps est un phénomène dont la découverte a eu beaucoup d'impact. Bien que l'utilisation des chlorofluorocarbones ait pratiquement cessé, ceux-ci resteront encore présents pendant longtemps dans l'atmosphère. En outre, les concentrations de nombreux autres gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, protoxyde d'azote et méthane, par exemple,) sont en augmentation, ce qui fait craindre des changements climatiques. Il est nécessaire de surveiller l'ozone et d'autres gaz atmosphériques afin de déterminer l'évolution de la chimie de l'atmosphère et ses effets sur l'environnement.

14. Les techniques satellitaires sont les plus adaptées pour la surveillance mondiale à long terme de l'ozone et des gaz apparentés. La mesure à distance des gaz atmosphériques se fonde sur les propriétés absorbantes et/ou émissives de ces gaz. Alors que les bandes d'absorption de l'ozone se situent dans les domaines ultraviolet, visible et infrarouge, celles de la plupart des autres gaz présents à l'état de trace se situent dans les domaines infrarouge et micro-onde. Des mesures détaillées de la colonne totale d'ozone ont été effectuées sur une très longue période au moyen du spectromètre de cartographie de l'ozone total (TOMS) qui a été lancé sur divers satellites afin d'assurer des observations continues. Le satellite de recherche sur la haute atmosphère (UARS) a fourni des ensembles de données utiles. Les États-Unis d'Amérique, l'ESA et le Japon prévoient de lancer des satellites équipés d'instruments multiples pour mesurer l'ozone ainsi que de nombreux autres gaz présents à l'état de trace. Les principales techniques de mesure et d'extraction des données ont été examinées lors de l'exposé.

## **3. Extraction de données temporelles sur les sources de rayons X à partir de l'expérience indienne d'astronomie X embarquée sur le satellite IRS-P3**

15. L'expérience indienne d'astronomie X (IXAE) comprend trois compteurs proportionnels collimatés qui sont utilisés pour étudier les propriétés de sources de rayons X cosmiques, à savoir les étoiles à neutrons et les trous noirs. L'expérience

IXAE a été lancée à bord du satellite indien IRS-P3 le 21 mars 1996 et fonctionne depuis cette date. Depuis quatre ans et demi, on a effectué dans le cadre de cette expérience une soixantaine d'observations pointées qui ont permis d'observer une quarantaine de sources de rayons X ponctuelles dans la galaxie. On a obtenu un certain nombre de résultats très intéressants qui révèlent diverses propriétés de ces objets denses et renseignent sur leurs interactions avec leur environnement. Les instruments employés et les résultats obtenus à ce jour ont été décrits lors de l'atelier et des points de détail concernant les diverses techniques d'analyse utilisées pour obtenir ces résultats ont été examinés. D'autres données scientifiques intéressantes pouvant être extraites des observations déjà effectuées dans le cadre de l'expérience IXAE ainsi que les techniques d'analyse applicables ont été présentées.

#### 4. Extraction et analyse de spectres ultraviolets stellaires à partir des données du satellite international d'exploration dans l'ultraviolet

16. L'ESA a mené dans le cadre de son programme scientifique des missions scientifiques spatiales uniques très fructueuses qui ont permis de constituer d'importantes collections de données dans divers domaines des sciences spatiales fondamentales. Étant donné les avantages particuliers que présentent les missions spatiales par rapport aux observatoires terrestres (stabilité des instruments, importante capacité de collecte de données, etc.), ces collections ont beaucoup contribué à promouvoir l'idée que les archives constituent des outils de recherche importants pour les scientifiques. Des efforts considérables ont été entrepris au cours de la dernière décennie pour faire en sorte que la communauté scientifique ait directement accès aux données et aux résultats de ces missions. À l'ESA, il existe de telles archives pour les missions scientifiques suivantes:

Satellite international d'exploration dans l'ultraviolet:	Spectres ultraviolets d'objets astronomiques
Observatoire spatial dans l'infrarouge:	Spectres et images infrarouges d'objets astronomiques
Hipparcos:	Mouvement propre et parallaxes d'objets astronomiques
Télescope spatial Hubble:	Images et spectres ultraviolets, optiques et infrarouges d'objets astronomiques
Observatoire solaire et héliosphérique:	Images ultraviolettes et X du soleil et de sa couronne
Ulysses:	Cartographie hydromagnétique et particulière de l'héliosphère

17. Les objectifs de ces missions étant différents, chacune de ces archives a sa propre structure et son propre domaine d'application. Les limites des produits obtenus ont été examinées et il a été expliqué qu'en raison de la grande quantité de données disponibles, les travaux de préparation des archives répondent à d'autres impératifs que les opérations normales de réduction des données. Il a été souligné qu'il était essentiel que les archives soient stables, de sorte que les scientifiques puissent concentrer leurs efforts sur l'interprétation des résultats et non sur le traitement des données. Des archives stables sont également essentielles à la réalisation de projets tels que des observatoires virtuels. On a expliqué pourquoi les

archives des missions passées et en cours constituent un outil exceptionnellement efficace pour les communautés qui commencent tout juste à bénéficier des avantages des activités scientifiques spatiales. Dans le domaine de l'enseignement, l'utilisation de ces archives est un moyen très stimulant et efficace de former des jeunes scientifiquement et techniquement compétents. Cela est essentiel pour commencer à mettre à profit les avantages des activités spatiales à l'échelle mondiale. L'utilisation d'archives spatiales dans les pays en développement est cruciale si l'on veut que les avantages des techniques spatiales soient un jour partagés par le plus grand nombre.

18. Deux des archives de l'ESA ont été examinées en détail afin d'en montrer les différences de structure et les incidences de ces différences sur leur utilisation et leur maintenance. Cet examen a montré l'utilité d'une archive bien conçue pour permettre aux pays en développement de participer à des activités dans le domaine des sciences et des applications spatiales. Il s'agit de l'archive INES de la mission IUE (Satellite international d'exploration dans l'ultraviolet) et de l'archive de la mission ISO (Observatoire spatial dans l'infrarouge). Ces deux exemples ont été examinés en détail afin de montrer les différences d'approche et les conséquences qui en résultent pour les utilisateurs et en ce qui concerne l'appui à long terme nécessaire aux archives. L'accès à ces deux archives est entièrement assuré par Internet et la technologie World Wide Web connexe. L'archive INES de la mission IUE est un exemple d'archive entièrement répartie qui est gérée seulement par deux centres primaires (au Canada et en Espagne) qui desservent un réseau mondial de fournisseurs nationaux d'accès (dans 22 pays). L'archive de la mission ISO est extrêmement centralisée (deux centres primaires en Espagne et aux États-Unis), l'objectif principal étant l'amélioration des produits de sortie. Les conséquences de ces différences de structure et d'approche ont été examinées en détail.

## **B. Télédétection et météorologie**

### **1. Réception, traitement automatique et distribution des données par le Centre asiatique de recherche sur la télédétection**

19. L'Institut asiatique de technologie (AIT), qui a été créé en Thaïlande en 1959, joue un rôle important en assurant une formation spécialisée de haut niveau dans divers domaines technologiques en Asie. Son programme pour la technologie, les applications et la recherche spatiales (STAR) offre une formation théorique et pratique et des possibilités de recherche dans le domaine de la technologie spatiale, en particulier en ce qui concerne la télédétection, les systèmes d'information géographique (SIG) et les systèmes mondiaux de navigation par satellite.

20. Étant donné l'expansion des domaines d'application de la technologie spatiale, on a redéfini en 1999 le rôle du programme STAR en tant que concepteur de technologie et partenaire technologique afin d'assurer une promotion plus efficace de la technologie spatiale dans la région. En tant que concepteur de technologie, le programme STAR forme des spécialistes capables de mettre au point des technologies applicables dans leur spécialité. Il encourage également les activités de recherche grâce à son centre de recherche. En tant que partenaire technologique, il a créé un SIG et un laboratoire de télédétection qui offrent des possibilités de formation et de recherche à l'ensemble de l'AIT. Il fournit également des services spécialisés à la région dans le cadre d'activités de formation, de recherche et de conseil.

21. Pour s'acquitter du rôle défini ci-dessus, le programme STAR comprend trois volets (enseignement, formation et recherche). Les ressources humaines, le matériel et l'expérience en matière de recherche sont partagés entre ces trois volets afin d'en maximiser l'efficacité.

22. Le volet enseignement, qui correspond à une fonction essentielle du programme STAR, comprend un programme de maîtrise et un programme de doctorat. Le programme de maîtrise dure 20 mois répartis sur cinq périodes. Les trois premières périodes sont réservées à des cours d'approfondissement des connaissances. Pendant les deux dernières périodes, qu'ils consacrent à la rédaction de leur thèse de maîtrise, les étudiants sont encouragés à contribuer à la mise au point de technologies applicables. Le programme de doctorat dure 36 mois au cours desquels les étudiants effectuent des travaux de recherche.

23. Dans le cadre de son activité de formation, le programme STAR a créé un centre pour les applications des SIG afin de transmettre ses connaissances spécialisées aux utilisateurs. Cinq cours appuyés par l'Agence nationale japonaise de développement spatial constituent l'activité principale de ce centre. Trois cours (sur la gestion des bassins versants, la gestion des zones côtières et les applications des données du radar à ouverture synthétique) ont lieu à l'AIT. Il s'agit de cours spécialisés axés sur l'intégration de la télédétection et des SIG. Les deux autres cours, dits "itinérants", sont organisés à l'extérieur de la Thaïlande afin d'offrir des possibilités de formation à un plus grand nombre d'utilisateurs de la région. Le Centre a également lancé un nouveau type de cours qui consiste à compléter les cours intensifs habituels par un programme "miniprojet" d'une durée d'un à deux mois, ce qui accroît l'efficacité des cours intensifs.

24. En coopération avec l'Association asiatique de télédétection (AARS), le programme STAR a créé un centre asiatique de recherche sur la télédétection chargé de promouvoir les activités de recherche et de fournir un appui technique à la région. Ce centre organise des projets de recherche, propose des possibilités de recherche et reçoit des chercheurs invités. Il reçoit les données NOAA-AVHRR, produit à des fins opérationnelles des images composites décennales sans nuage de l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN) et distribue des données sur Internet pour des applications en temps quasi-réel. Il compte également installer d'ici mars 2001 une station de réception MODIS (spectroradiomètre imageur à résolution moyenne).

25. On souhaiterait, dans le cadre du programme STAR, créer un centre pour les applications des données afin de fournir davantage de données avec un appui technique aux utilisateurs de la région, et de contribuer ainsi à l'application pratique des données de télédétection et au renforcement de la recherche dans la région.

## **2. Mise au point de méthodes de correction géométrique des images satellitaires multirésolution temporelles**

26. Il est maintenant possible d'avoir accès à un volume important d'images naturelles et de synthèses ainsi que de données sur grille qui ont été produites récemment, par exemple par les satellites imageurs actuellement en service tels que Landsat, RADARSAT, SPOT, ERS. Il est actuellement prévu de lancer plus d'une centaine de satellites d'observation de la Terre d'ici 2005. L'orthophoto-cartographie numérique est un autre domaine où d'importants investissements financiers sont effectués et où de grandes quantités de données



maillées sont produites. Il est évident que l'intégration de différents types de données dans une base de données offrirait de nombreuses possibilités. Cela permettrait d'utiliser efficacement ces données à des fins telles que la surveillance de l'environnement terrestre.

27. Les recherches ont été concentrées sur deux méthodes envisageables pour mettre au point des systèmes de base de données permettant de gérer une grande quantité d'images satellitaires géocodées et de données maillées. Ces méthodes sont décrites ci-après.

28. Une correction géométrique très précise nécessite des points d'appui au sol (GCP) mais il n'est pas toujours facile d'en trouver dans une scène pour enregistrer les coordonnées de l'image. En outre, la correction géométrique à l'aide de points d'appui exige beaucoup de travail et les méthodes traditionnelles de correction géométrique ne peuvent pas être utilisées si l'on ne dispose pas d'un bon point d'appui dans une scène. La correction géométrique de toutes les images satellitaires devant être utilisées doit donc être effectuée automatiquement en même temps. On a proposé une méthode permettant de déterminer automatiquement des points d'appui et des points de rattachement ainsi que de compenser des erreurs géométriques sur toutes les images qui est fondée sur le principe de l'ajustement en bloc appliqué en photogrammétrie. Cette méthode contribue à accroître l'efficacité et à réduire le nombre total de points d'appui nécessaires à la correction géométrique.

29. Tout d'abord, les formes des empreintes des pixels sont représentées sur un système de coordonnées donné. En projetant les limites ou les quatre coins des pixels de l'image sur la grille correspondant au système de coordonnées terrestres, le rapport entre les pixels et la grille peut être exactement et explicitement représenté. Ce processus exige de gros moyens informatiques, mais les limites ainsi projetées peuvent être utilisées de façon répétée tant que les cellules de la grille sont définies sur la base du même système de coordonnées. La deuxième étape consiste à représenter les empreintes des limites des pixels au moyen d'une combinaison de lignes. Les limites des pixels et les limites de lignes peuvent être définies par approximation au moyen de segments linéaires ayant les mêmes intervalles. Cela permet de calculer très rapidement les points d'intersection avec les limites des cellules de la grille.

### **3. Gestion des ressources naturelles au moyen de la télédétection par satellite**

30. Adopter des stratégies de développement durable n'est plus un choix mais une nécessité impérieuse pour assurer la sécurité économique et alimentaire de l'humanité. Tel a été le thème central du programme Action 21 adopté en 1992 par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Les connaissances scientifiques et techniques doivent contribuer à l'élaboration de stratégies de développement durable. Le développement spectaculaire de la technologie spatiale au cours des quatre dernières décennies a montré avec force que la Terre n'est qu'un grand village fragile dont la survie exige qu'on encourage un style de vie raisonnable en harmonie avec la nature et l'environnement. Cela suppose notamment que l'on surveille, que l'on gère et que l'on protège les ressources naturelles. Associée aux systèmes d'information géographique, la télédétection par satellite joue un rôle crucial dans le cadre des efforts visant à déterminer, à accroître et à surveiller la capacité d'hébergement de la planète. Elle

aide également à élaborer des plans d'action appropriés en vue du développement durable.

31. Outre les avantages directs qu'elle procure, la technologie spatiale a mis clairement en évidence l'interdépendance des phénomènes naturels et anthropogéniques de nature météorologique ou climatique ou concernant la géosphère et la biosphère qui se produisent partout dans le monde et qui font que le sort de chaque pays est indissociablement lié à celui de la planète dans son ensemble. Un certain nombre d'exemples concernant le couvert forestier, la cartographie des terres en friche, l'estimation des récoltes, l'estimation des rendements et leur surveillance ont été présentés. Un exemple de gestion intégrée des ressources aux fins du développement durable qui a donné lieu à l'élaboration d'un plan d'action local a été présenté. On a également beaucoup insisté sur les outils d'analyse de l'environnement faisant appel à la géomatique et sur la limitation des dégâts dus aux catastrophes naturelles à l'aide de données de télédétection. Les résultats obtenus montrent toutefois la nécessité d'institutionnaliser la technologie, d'élaborer des mécanismes, de renforcer les capacités et d'échanger des données entre pays en développement. Si l'on n'adopte pas des stratégies mondiales de gestion et de mise en valeur des ressources fondées sur la télédétection spatiale et d'autres contributions de la technologie de l'information qui soient conformes aux attentes de la société et aux pratiques culturelles, il ne sera pas possible d'assurer la sécurité de l'environnement au cours des prochaines décennies.

#### **4. Acquisition et traitement des images satellitaires**

32. Les différentes images de télédétection obtenues dans les différentes bandes de fréquences du spectre électromagnétique résultent de l'interaction entre le rayonnement électromagnétique et la surface étudiée. Chaque image est définie par un ensemble de nombres indiquant des niveaux de luminance discrets (pixels). Le traitement commence par la correction radiométrique et géométrique de l'image, laquelle peut ensuite être enregistrée au moyen d'un système de coordonnées géographiques, de sorte que d'autres données spatiales puissent être ajoutées. Afin de permettre une meilleure interprétation et une meilleure analyse, les images sont encore accentuées et classées en différentes catégories d'objets. Des techniques d'accentuation et des outils de classification ont été examinés et des exemples ont été fournis.

#### **5. Imaginerie satellitaire et réduction des données radiométriques pour des applications météorologiques**

33. Les prévisions météorologiques sont établies pour trois échéances principales: court terme, moyen terme et long terme. Pour les prévisions à court et à moyen terme, il s'agit essentiellement d'un problème de valeurs initiales, qui exige que l'on détermine les conditions initiales exactes. Grâce à leur couverture synoptique et très répétitive, les satellites peuvent donner, en plus des profils de température et d'humidité de la troposphère, une description des vents à l'échelle mondiale sur quatre niveaux. Ces paramètres sont utilisés dans des modèles numériques de prévision météorologique pour prévoir le temps et les précipitations. L'un des paramètres les plus importants obtenu au moyen de satellites est la température superficielle de la mer.

34. Il existe deux classes de satellites météorologiques: les satellites géostationnaires (assurant une couverture répétitive d'une région particulière du

globe) et les satellites à défilement (qui assurent une couverture mondiale environ deux fois par jour). Ces satellites ont à leur bord des instruments passifs tels que des imageurs verticaux et au limbe (radiomètres et sondeurs visibles, infrarouges et micro-ondes) et des instruments actifs tels que des radars (altimètre, diffusiomètre, radar à ouverture synthétique, lidar, etc.).

35. Les satellites géostationnaires indiens de la série INSAT et les satellites héliosynchrones polaires de la série NOAA jouent depuis près de deux décennies un rôle central dans l'étude des principaux systèmes météorologiques en Inde et en particulier des cyclones tropicaux, de la mousson du sud-ouest et des perturbations d'ouest. Les satellites INSAT renseignent sur les vents de déplacement des nuages, l'indice des précipitations et le rayonnement sortant de grande longueur d'onde et les satellites de NOAA indiquent la température superficielle de la mer. On a fait des démonstrations pour montrer comment ces produits sont obtenus.

36. L'Inde a récemment lancé le satellite Oceansat-1 qui est équipé d'un radiomètre micro-ondes multicanal à balayage (MSSR) pour mesurer les paramètres de l'atmosphère et de la surface océaniques.

## **6. Extraction de paramètres utiles à partir de données satellitaires brutes**

37. Le problème inverse en classification thématique des images de télédétection a été abordé; il a été souligné qu'il n'était pas possible d'y apporter une solution unique mais qu'une façon de le résoudre était d'appliquer la méthode de classification par maximum de vraisemblance. À l'aide d'une étude de cas, il a été démontré que cette méthode pouvait donner une classification exacte à environ 72 %. Le calque SIG à énumération spatiale décrivant différentes classes correspondant à l'image donnée a été utilisé pour redéfinir la probabilité a priori (rapport de la surface correspondant à une classe thématique donnée à la surface totale de l'image) et il a été procédé à une classification par maximum de vraisemblance en mode itératif jusqu'à ce que l'on obtienne une exactitude se situant dans une fourchette de moins de 3 % par rapport au calque SIG. Toutefois, même avec cette méthode, une exactitude de 87 % seulement a pu être obtenue après cinq itérations. Les raisons de cette limite ont été expliquées à l'aide d'histogrammes et de diagrammes de diffusion entre les différentes bandes.

38. Étant donné que les conditions agropédologiques et les conditions météorologiques peuvent être considérées comme homogènes sur des échelles de 10 mètres et 100 kilomètres respectivement et qu'il s'agit de processus interdépendants, la moyenne géométrique de 10 mètres et 100 kilomètres, c'est-à-dire 1 kilomètre, peut être retenue comme échelle pour les observations spatiales destinées aux applications agrométéorologiques. Le rapport établi avec un niveau de confiance de 98 % à l'échelle du district entre le profil temporel de l'IVDN déterminé à partir des données AVHRR et les degrés-jours de croissance (l'indicateur agrométéorologique de croissance classique) a été démontré. Les problèmes de la variation d'émissivité et du changement de la surface relative du sol et des cultures exposées au cours du cycle végétatif ont été résolus en estimant la température ( $T_s$ ) du pixel dans deux cas hypothétiques extrêmes, à savoir le sol entièrement découvert ( $T_g$ ) et le sol entièrement couvert par la végétation ( $T_v$ ), sur la base de leur valeur d'émissivité respective dans les bandes AVHRR 4 (10,3-11,3  $\mu\text{m}$ ) et 5 (11,5-12,5  $\mu\text{m}$ ); les valeurs  $\text{IVDN}_g$  et  $\text{IVDN}_v$  pour les situations décrivant les émissivités utilisées pour calculer  $T_g$  et  $T_v$  ont été obtenues dans des

travaux déjà publiés.  $T_s$  a été estimée de la façon suivante:  $T_s = T_g (1 - IVDN_n) + T_v * IVDN_n$ , où  $IVDN_n = (IVDN - IVDN_g)/(IVDN_v - IVDN_g)$ .  $IVDN$  est l'indice de végétation observé pour le pixel ayant la température  $T_s$ .

## **7. Application de la télédétection au Département général de l'administration des terres du Viet Nam**

39. Le Centre de télédétection est un service du Département général de l'administration des terres du Viet Nam qui a été créé en 1985 sur la base d'une division de la télédétection qui fonctionnait depuis 1980. Le Centre de télédétection concentre ses efforts sur le traitement des images afin de fournir aux utilisateurs des données satellitaires à différents niveaux de traitement, y compris au niveau 3, et de mettre à jour des cartes topographiques. Il établit également des cartes thématiques, notamment des cartes d'utilisation des sols à différentes échelles. Jusqu'à maintenant, toutes ces applications s'appuyaient sur des données optiques fournies notamment par les satellites SPOT et Landsat ainsi que sur des images provenant de différents satellites russes. Le projet relatif à l'application de la télédétection à la gestion des zones côtières exécuté par le Centre de télédétection avec l'assistance technique du Département des affaires économiques et sociales, le Bureau des affaires spatiales et l'ASE devrait donner une nouvelle impulsion aux travaux futurs. Ce projet vise à renforcer les capacités du Centre à utiliser la télédétection pour ses activités de cartographie opérationnelle, en particulier en ce qui concerne les zones côtières du Viet Nam, et à mettre en place un important volet "télédétection par micro-ondes". Les premiers résultats de ce projet en cours ont été présentés.

## **8. Traitement des données radar aux fins d'applications océanographiques**

40. Cet exposé a consisté en une introduction aux techniques radar (radar à ouverture réelle et à ouverture synthétique et interférométrie) et en une discussion sur l'importance des radars spatiaux pour les applications océanographiques.

41. Les radars à ouverture réelle et en particulier les différences dans la représentation des images radars et des images optiques ont constitué le premier sujet de discussion. Le concept de projection médistance a été présenté et comparé avec la projection optique classique. Cette présentation a ensuite été complétée par la définition du pouvoir séparateur radial et azimutal. Étant donné que le diffusiomètre ERS est essentiellement un radar à ouverture réelle, certaines notions complémentaires de diffusiométrie ont été présentées. Les stratégies permettant d'améliorer le pouvoir séparateur radial et azimutal des radars à ouverture synthétique (ROS) ont été examinées et le rôle de l'effet de Doppler en imagerie radar a été expliqué. Des précisions ont été fournies sur les caractéristiques des images ROS, en particulier les effets dus à l'irrégularité de la surface, à l'angle d'incidence et aux caractéristiques diélectriques de la cible, qui sont liés à la profondeur de pénétration et à la polarisation du rayonnement incident. La discussion générale sur l'imagerie radar s'est achevée par l'examen d'une image de Dehra Dun.

42. On a ensuite abordé l'interférométrie, dont les principales équations ont été brièvement expliquées. Un interférogramme de Dehra Dun ainsi que son image de cohérence ont été utilisés pour illustrer certaines des principales applications de l'interférométrie (topographie, production de cartes des pentes, classification de l'utilisation des sols, détection de changements, observation des déplacements de la glace et applications concernant les séismes et les volcans).

43. Les applications océanographiques des radars spatiaux revêtent une importance considérable parce que les océans ont une influence décisive sur de nombreux aspects de la vie, non seulement sur plan géophysique mais aussi sur le plan socioéconomique. L'un des principaux éléments des paramètres qu'il faut mesurer au-dessus de l'océan est le vent, que la diffusiométrie permet de surveiller à l'échelle mondiale avec une résolution temporelle raisonnable, ce qui est très utile aux météorologues et aux océanographes pour mieux comprendre les relations entre l'océan et l'atmosphère. La rugosité de l'océan est mesurée à l'aide de radars. La méthode utilisée pour déterminer la vitesse et la direction du vent à partir de la rugosité de la surface de l'océan, qui est directement liée au vent qui souffle sur cette surface, a été décrite.

44. L'altimétrie radar a déjà une longue histoire. Le premier altimètre radar a été embarqué sur Skylab en 1973 et d'autres instruments toujours plus précis lui ont succédé. Les diverses applications de ce type d'instrument dépendent non seulement de l'exactitude des mesures de temps effectuées à bord mais aussi de la zone couverte, des diverses caractéristiques des instruments, des caractéristiques de la mission et des diverses corrections géophysiques à effectuer. En océanographie, les principales applications de l'altimétrie radar concernent les courants, le niveau moyen de la mer, le phénomène El Niño, la topographie du niveau de la mer et les marées. Toutefois, il existe de nombreuses autres applications, en particulier la surveillance des eaux intérieures (par exemple l'évolution du lac Tchad ou de la mer Caspienne) ou la topographie des inlandsis.

**9. Conception et construction d'une petite station terrestre (lecture directe) et d'un réseau informatique pour la réception, le traitement et la distribution des images S-VISSR du satellite météorologique géostationnaire GMS-5**

45. Une description a été faite du système mis au point à l'Institut de physique du Conseil national de la science et de la technologie du Viet Nam pour la réception, le traitement et la distribution des images S-VISSR du satellite météorologique géosynchrone japonais GMS-5, qui est opérationnel depuis juin 1995. Le satellite GMS-5 est positionné à 140° de longitude E au-dessus de l'équateur à environ 35 800 km de la Terre. Le système décrit, qui s'appuie sur du matériel et des logiciels informatiques faciles à utiliser, (ordinateurs personnels formant un réseau local), comprend une antenne, un amplificateur à faible niveau de bruit, un convertisseur de réception, un synchronisateur bit/trame et une carte de transfert des données. Un ordinateur du réseau local gère l'ensemble du processus. Le système comprend plusieurs fonctions de traitement des images qui peuvent être divisées en quatre modules: réception, prétraitement et visualisation, traitement classique et application. La fonction application permet de répondre à des demandes spécifiques des utilisateurs. L'architecture ouverte du système permet aux utilisateurs de consulter et d'analyser pratiquement n'importe quel type d'image et de partager les données avec d'autres utilisateurs.

46. Le système décrit plus haut peut recevoir des signaux des satellites météorologiques géostationnaires chinois de la série FY-2. Un nouveau satellite de la série FY-2B a été lancé le 25 juin 2000, et ses premières images ont été reçues par le système en septembre 2000.

**C. Télédétection et systèmes d'information géographique (SIG)**

47. Selon le programme Action 21, il est impératif d'œuvrer au développement durable tout en préservant l'environnement de la planète. Il faut pour cela gérer de façon optimale les ressources naturelles, ce qui nécessite une information fiable et à jour aux échelles nationale et régionale. La télédétection tient une place de plus en plus importante en fournissant rapidement les informations fiables dont on a besoin pour gérer les ressources naturelles de façon durable et protéger l'environnement. Grâce aux SIG, il est possible d'intégrer les données obtenues par télédétection aux données provenant d'autres sources et d'aider ainsi les responsables de la gestion, de la planification et de la prise des décisions concernant les ressources à obtenir l'information dont ils ont besoin. Afin de faciliter la gestion durable des ressources naturelles dans les pays en développement, le Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique organise un stage de formation spécialisée à la télédétection et aux SIG appliqués aux diverses disciplines relatives aux ressources terrestres. Le stage a lieu dans l'un des meilleurs établissements de la région, l'Institut indien de télédétection, qui a formé au cours des trente dernières années des stagiaires venus d'Inde et d'ailleurs. L'Institut dispose de moyens informatiques de pointe et notamment d'ordinateurs personnels et de stations de travail équipés de périphériques et de logiciels modernes. Il dispose également de laboratoires compétents dans le domaine du matériel et de la technologie concernant la réalité de terrain. Grâce à des séances de démonstration portant sur la réduction, le traitement, l'analyse et les applications des données satellitaires, les participants à l'atelier ont pu se familiariser avec le matériel et les logiciels informatiques dont disposent l'Institut indien de télédétection et le Centre de formation aux sciences et techniques spatiales pour l'Asie et le Pacifique.

#### *Notes*

<sup>1</sup> *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III)*, chap. I, rés. 1, partie I, alinéa 1 e) ii) et chap. II, alinéa 409 d) i).

<sup>2</sup> *Documents officiels de l'Assemblée générale, quarante-quatrième session, Supplément n° 20 (A/54/20)*, par. 52.

---