



Assemblée générale

Distr.: Générale
14 août 2001

Français
Original: Anglais

Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

Rapport de l'Atelier Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne/Comité de la recherche spatiale sur les techniques d'analyse des données et de traitement des images

(Damas, 25-29 mars 2001)

Table des matières

	<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.....	12-54	4
A. Télédétection et systèmes d'information géographique: études de cas	12-23	4
1. Égypte: Modélisation de l'environnement du désert occidental à l'aide de données satellitaires	12-13	4
2. Jamahiriya arabe libyenne: Dégradation des sols et désertification	14-15	4
3. Arabie saoudite: Étude des ressources en eau à Al-Madinah Al Munawwarah	16	5
4. Soudan: Informer les décideurs des pays en développement sur les possibilités offertes par les techniques de télédétection	17-19	5
5. République arabe syrienne: Établissement de cartes d'utilisation des sols et détermination des facteurs de pollution dans le bassin d'Al-Awage à l'aide des techniques de télédétection	20-21	6
6. République arabe syrienne: La télédétection au service de l'agriculture et de la gestion des ressources foncières	22-23	6

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
B. Télédétection et SIG: Analyse des données et traitement des images	24-43	7
1. Traitement des images numériques	24-25	7
2. Recours à la télédétection et aux SIG pour la gestion des ressources naturelles	26-28	7
3. Gestion des ressources naturelles au moyen de l'approche géomatique	29-31	7
4. Modèle de mélange linéaire aux fins de la cartographie de la végétation dans les terres arides	32-34	8
5. Évaluation de la classification en fonction de sa structure d'une image provenant d'un radar à ouverture synthétique	35-36	8
6. Classification combinée d'une image SPOT-XS au moyen d'informations sur la texture et d'informations multispectrales	37-42	8
7. Rôle et extraction des paramètres géophysiques dans l'étude des processus à la surface du sol	43	9
C. Application des données de télédétection à la météorologie	44-47	9
Satellites météorologiques opérationnels en orbite géostationnaire et polaire	44-47	9
D. Photogrammétrie numérique sur ordinateur individuel	48-51	10
E. Télédétection et SIG opérationnels à l'Organisation générale de télédétection ..	52-54	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) 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 des pays en développement¹.

2. À sa quarante-troisième session, en 2000, 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 2001² puis, dans sa résolution 55/122 du 8 décembre 2000, l'Assemblée générale a approuvé le programme des Nations Unies pour l'application des techniques spatiales pour 2001.

3. Comme suite à la résolution 55/122 et conformément à la recommandation d'UNISPACE III, l'Atelier ONU/Agence spatiale européenne (ESA)/Comité de la recherche spatiale (COSPAR) sur les techniques d'analyse des données et de traitement des images a été organisé par l'ONU, l'ESA et le Gouvernement de la République arabe syrienne à l'Organisation générale de télédétection (GORS) à Damas du 25 au 29 mars 2001. La GORS a accueilli l'atelier au nom du Gouvernement de la République arabe syrienne.

4. Cet atelier avait pour objectif principal d'offrir une tribune à des ingénieurs, à des enseignants et à des scientifiques que l'analyse et l'interprétation de données satellitaires et l'accès à ces données intéressent. Bien que les applications scientifiques et techniques 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 d'analyse des données et de traitement des images qui permettraient

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 d'ingénieurs et de scientifiques dans les pays en développement.

5. L'atelier a donné lieu à des échanges entre les ingénieurs et les scientifiques qui produisent des données satellitaires pour diverses applications scientifiques et techniques 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 leur domaine 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 pratiques, 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 utilisateurs possédant un large éventail de compétences en matière de production et d'utilisation de logiciels de gestion des données pour les besoins de la télédétection, des systèmes d'information géographique (SIG), de la photogrammétrie et de leurs applications à la gestion des ressources naturelles, en particulier la surveillance des ressources en eau, de la désertification, de l'utilisation des sols, de la pollution de l'environnement et des modifications de l'écosystème dans les zones arides.

6. L'atelier a également permis de commencer à préparer le prochain atelier de cette série, qui sera organisé en 2002 par le Gouvernement nigérian, si possible au Centre régional africain de formation aux sciences et techniques spatiales en langue anglaise, à Ile-Ife (Nigéria).

7. Le présent rapport a été établi en vue d'être soumis à la trente-neuvième session du Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique en 2002. 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. Plusieurs communications présentées lors de l'atelier seront publiées dans *Seminars of the*

United Nations Programme on Space Applications: Selected Papers from Activities Held in 2001 (ST/SPACE/7).

B. Organisation et programme

8. L'atelier a eu lieu à la GORS à Damas du 25 au 29 mars 2001. Il a réuni 56 ingénieurs, enseignants et scientifiques de 15 pays (Algérie, Allemagne, Arabie saoudite, Autriche, Égypte, Inde, Jamahiriya arabe libyenne, Jordanie, Liban, Maroc, Nigéria, République arabe syrienne, Soudan, Tunisie et Yémen) ainsi que des membres du personnel de l'ONU et de l'ESA.

9. L'ONU et l'ESA ont fourni un appui financier pour couvrir les frais de voyage internationaux par avion et les frais de subsistance de 20 participants de pays en développement. La GORS 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, la GORS, l'ESA et le COSPAR. Les mémoires qui ont été présentés portaient sur les techniques 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 la GORS, du Bureau des Nations Unies pour les affaires spatiales et de l'ESA.

II. Résumé des mémoires

A. Télédétection et systèmes d'information géographique: études de cas

1. Égypte: Modélisation de l'environnement du désert occidental à l'aide de données satellitaires

12. L'Égypte s'est lancée dans un ambitieux projet (projet Toshka) visant à utiliser les ressources en eau

du Nil pour mettre en valeur des terres dans le désert occidental (qui fait partie du grand désert africain). Un certain nombre d'activités de mise en valeur et d'exploitation agricole de terres et d'activités alimentaires et agro-industrielles, de logement, de transport et d'approvisionnement en énergie sous diverses formes sont également menées en association avec ce projet. L'influence des conditions climatiques sur les activités susmentionnées n'est pas bien connue ni comprise. Or, l'aridité de l'environnement et le déplacement des dunes de sable pourraient être très préjudiciables à la faisabilité et à la rentabilité à long terme de ces activités. Assurer des conditions climatiques adéquates en privilégiant l'utilisation appropriée de moyens passifs et naturels permettrait apparemment d'améliorer les conditions de vie tout en réalisant de grandes économies sur les dépenses de fonctionnement du projet. Il faut toutefois pour cela disposer de données environnementales solides et vérifiées de manière fiable qui conviennent pour les travaux de conception, de surveillance et d'évaluation.

13. Ce mémoire présentait une proposition visant à utiliser des données satellitaires pour construire une série de modèles environnementaux/climatiques pouvant être utilisés dans le cadre des différentes activités susmentionnées à différents niveaux de détail (macroclimatique, mésoclimatique et échantillon microclimatique). Ces modèles incluaient des cartes obtenues à partir d'images numériques et des bases de données météorologiques qui en constituaient les éléments essentiels. Un certain nombre d'outils aérodynamiques donnant la vitesse du vent à la surface et des renseignements sur l'altération due aux agents atmosphériques dans des sites déterminés, ont été intégrés à des fins d'analyse et de simulation. Il était largement fait appel aux techniques modernes de visualisation afin de présenter les résultats de manière à ce qu'ils soient plus faciles à utiliser. Cette proposition accordait beaucoup d'importance à la coordination avec d'autres entités œuvrant dans des domaines connexes, comme la désertification, la météorologie, l'agriculture, l'architecture, l'archéologie, la télédétection et l'utilisation de l'énergie.

2. Jamahiriya arabe libyenne: Dégradation des sols et désertification

14. Ce mémoire donnait un aperçu des informations disponibles concernant les processus qui provoquent la

dégradation des sols et la désertification en Jamahiriya arabe libyenne ou qui y contribuent, en particulier sur la zone côtière méditerranéenne où se trouvent des terres potentiellement cultivables et où sont concentrés plus des trois quarts de la population. Au cours des quatre dernières décennies, des mesures ont été prises sur le plan national pour lutter contre la désertification et de nouveaux efforts doivent être déployés d'urgence. Il a également été rendu compte dans ce mémoire de l'application de la télédétection et des SIG à l'étude de la dégradation des sols des régions situées dans le nord-ouest du pays. Le manque d'eau (aridité), le surpâturage et la disparition de zones de pâturage au profit de l'agriculture pluviale ont provoqué la destruction de la couverture végétale naturelle (réduction de la bioproduktivité et invasion de nouvelles espèces) et entraîné l'érosion éolienne et hydraulique. L'utilisation accrue par l'homme de nappes aquifères souterraines localisées se traduit par des intrusions d'eau de mer dans la zone côtière.

15. Dans les zones irriguées, l'irrigation excessive et le mauvais drainage ont entraîné l'engorgement et la salinisation secondaire du sol. Les études de surveillance de la région d'El-Witia, réalisées en 1997 au Centre libyen de télédétection et des sciences spatiales (sous la forme d'un projet pilote) ont montré la gravité de la dégradation des pâturages de la zone côtière du pays (52 % de réduction de la couverture végétale et 227 % d'augmentation de la formation de dunes de sable au cours de la décennie 1986-1996. Ces dernières décennies, de nombreuses mesures de mise en valeur et de conservation des ressources en eau, de lutte contre l'érosion éolienne et l'érosion hydraulique, de réforme agraire et de mise en valeur de terres ainsi que plusieurs mesures sociales et juridiques ont été prises pour lutter contre la désertification. Certaines de ces mesures ont donné de bons résultats mais d'autres ne sont pas adaptées. Il faut donc les évaluer de manière à avoir une vision claire de la situation pour les programmes à venir. Ce mémoire a également souligné l'importance de modifier les politiques de gestion des ressources en eau pour tenir compte de la pénurie croissante d'eau dans le pays, ainsi que le rôle de la recherche, de l'enseignement et de la formation pour lutter contre la désertification et enrayer plus efficacement la dégradation des sols.

3. Arabie saoudite: Étude des ressources en eau à Al-Madinah al Munawwarah

16. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les ressources en eau de la ville d'Al-Madinah al-Munawwarah et de ses environs, en vue de trouver d'autres réserves souterraines pour répondre à l'accroissement de la demande d'eau potable. Des images satellitaires fournies notamment par l'instrument de cartographie thématique (TM) du satellite Landsat-5 et par le satellite SPOT (Système pour l'observation de la Terre) ont été traitées afin d'étudier la géologie de la région. Des images tridimensionnelles ont été produites et utilisées pour analyser de manière détaillée la topographie et les systèmes de drainage des eaux. Des études géophysiques, comprenant des levés magnétiques et des sondages de résistivité ont été réalisées et il a été procédé à des essais de pompage dans un certain nombre de puits existant dans la région, le but étant de connaître la profondeur du socle et donc l'épaisseur des sédiments ainsi que la profondeur et le volume des aquifères. Des travaux de modélisation mathématique ont également été effectués pour déterminer le potentiel actuel et futur de ces aquifères. Un certain nombre de sites, dont les ressources pourraient être utilisées pour répondre aux besoins croissants en eau potable, ont été localisés dans la zone étudiée. Ce projet a été en partie financé par la société d'approvisionnement en eau potable d'Al-Madinah al-Munawwarah.

4. Soudan: Informer les décideurs des pays en développement sur les possibilités offertes par les techniques de télédétection

17. Le Soudan, qui a une superficie de 2,5 millions de km², est le plus grand pays d'Afrique et possède un climat et des ressources naturelles diversifiés. Il pourrait être très difficile pour un pays en développement comme le Soudan de mettre en valeur ces ressources en raison du rôle central que joue la technologie dans ce processus, d'où l'importance vitale de recourir à la télédétection qui est l'une des techniques de pointe les plus largement utilisées. Aux niveaux local, régional et mondial, la pression sur les ressources naturelles augmente rapidement. Cette situation exige une gestion rationnelle de ces ressources qui est possible grâce à la télédétection.

18. L'objectif de cette étude était d'informer les décideurs des pays en développement, et en particulier ceux du Soudan, sur les possibilités offertes par les techniques satellitaires pour recueillir des informations essentielles sur les cultures, l'utilisation des sols, les milieux côtier et marin, l'exploration minière etc. et de souligner l'importance de ces données pour les travaux récents et futurs. Elle a montré comment des données de télédétection concernant différents aspects des ressources naturelles et de l'environnement pouvaient être utilisées pour guider notamment les décideurs, les planificateurs, les administrateurs et les chercheurs. Elle a montré également qu'il était nécessaire pour un pays en développement comme le Soudan d'utiliser la télédétection, car cette technique est un outil rapide et pratique d'analyse, d'évaluation et de surveillance de l'environnement et des ressources naturelles. Les résultats de l'intégration de la télédétection dans la recherche, les travaux d'application et l'enseignement au Soudan favoriseront le développement scientifique et technique du pays. Grâce à la télédétection, on a constaté en 1997 que 18 % des pâturages dans les régions semi-arides du centre du pays avaient été mis en culture, ce qui avait entraîné une importante dégradation des sols. Des études faisant appel à la télédétection, réalisées en 1985 dans le Kordofan occidental, ont montré qu'aucune zone écologique ne s'était déplacée vers le sud; apparemment, les frontières entre les différentes zones de végétation étaient identiques à ce qu'elles étaient 80 ans auparavant.

19. Il a été recommandé dans cette étude de mettre en évidence l'utilité des techniques de télédétection, appuyées par les SIG, pour la planification et le développement dans les pays en développement, de manière à convaincre les décideurs d'en soutenir les applications. Étant donné que la plupart de ces pays ne disposent pas de systèmes de télédétection, il a également été recommandé de leur apporter l'aide nécessaire pour qu'ils se dotent de tels systèmes.

5. République arabe syrienne: Établissement de cartes d'utilisation des sols et détermination des facteurs de pollution dans le bassin de l'Al-Awage à l'aide des techniques de télédétection

20. L'objectif de cette étude était de procéder à une enquête écologique sur le bassin de l'Al-Awage (qui est considéré comme l'une des principales sources d'eau

de Damas) en utilisant les techniques de télédétection et les SIG., l'accent étant mis sur la réalisation de:

a) Cartes de répartition de la végétation à l'échelle de 1/100 000 montrant la densité et la répartition du couvert végétal naturel et cultivé dans la région du bassin. Ces cartes montraient également, en utilisant trois combinaisons différentes, la corrélation entre la présence de végétation et les eaux fluviales.

b) Cartes d'utilisation des sols à l'échelle de 1/100 000 permettant de déterminer les polluants et autres facteurs qui ont une incidence sur le bassin de l'Al-Awage en général.

21. Sur la base des résultats de cette étude, des recommandations ont été faites et des mesures indispensables ont été proposées en vue de lutter contre la pollution, ainsi que pour protéger la santé de l'homme et l'environnement dans le bassin de Damas.

6. République arabe syrienne: La télédétection au service de l'agriculture et de la gestion des ressources foncières

22. Les techniques de télédétection revêtent une grande importance dans le cadre d'études agricoles et pour la gestion des ressources foncières. Dans ce domaine, les photos aériennes et les images spatiales, qui sont obtenues au moyen de capteurs électroniques ou de radars, peuvent être utilisées pour déterminer, surveiller, évaluer et cartographier les ressources agricoles et foncières. Certaines de ces activités ont été mises en œuvre en République arabe syrienne par la GORS. Les études de cas suivantes ont été réalisées:

a) Établissement de cartes d'utilisation des sols dans l'ouest et le sud du pays;

b) Établissement de cartes de la couverture terrestre;

c) Étude des sols et classification des terres dans l'ouest;

d) Surveillance de la dégradation des sols dans certaines régions;

e) Évaluation des ressources foncières dans le nord-est;

f) Surveillance et évaluation des pâturages;

g) Établissement de cartes forestières des montagnes côtières syriennes.

23. Ces études ont montré que la télédétection est un outil précieux pour ce type d'applications et que l'intégration de la télédétection dans les SIG est indispensable à la constitution de bases de données pour l'agriculture et la gestion des ressources foncières.

B. Télédétection et SIG: Analyse des données et traitement des images

1. Traitement des images numériques

24. On entend par traitement des images numériques la manipulation et l'interprétation d'images numériques obtenues à partir de données de télédétection. En 1972, les États-Unis d'Amérique ont lancé le satellite Landsat 1, qui a permis une large diffusion de l'imagerie numérique pour la téléobservation des terres. Il existe diverses sources de données d'images numériques telles que les satellites commerciaux d'observation de la Terre, les satellites météorologiques, les capteurs à balayage aéroportés et les caméras numériques aéroportées. Toutes ces formes de données peuvent être traitées et analysées à l'aide de techniques informatiques de traitement des images numériques.

25. Le traitement des images numériques fait souvent appel à des procédures mathématiques qui peuvent être complexes, mais l'objectif du mémoire était d'en présenter les principes fondamentaux. Les opérations de traitement sont les suivantes:

- a) Importation des données de télédétection;
- b) Correction radiométrique;
- c) Correction géométrique;
- d) Accentuation des images;
- e) Classification des images;
- f) Production de cartes.

2. Recours à la télédétection et aux SIG pour la gestion des ressources naturelles

26. Grâce aux progrès rapides de la technologie de télédétection, les données spatiales sont devenues une source de données très précises et à jour qui permettent d'établir des cartes générales et thématiques semi-détaillées et d'effectuer différents types d'opérations de

traitement numérique et de classification extrêmement précises.

27. Étant donné que la technologie des SIG est fondée sur l'intégration et une approche multiniveaux faisant intervenir principalement l'informatique, les mathématiques, la planification et les sciences de la Terre, la télédétection est devenue une importante source d'informations essentielles pour la constitution de bases de données. Par conséquent, elle joue maintenant un rôle central dans les applications SIG et la technologie de l'information.

28. Les SIG, qui font appel à des ordinateurs et à des logiciels appliqués, sont maintenant considérés comme de nouveaux outils pour la constitution de bases de données. Ces bases de données comprennent différentes cartes thématiques ayant des résolutions spatiales et des attributs physiques différents. Le traitement et l'analyse de ces bases de données permettent de déterminer des solutions et des options qui sont utilisées pour la planification et la modélisation aux fins de la gestion des ressources naturelles.

3. Gestion des ressources naturelles au moyen de l'approche géomatique

29. Cet exposé a consisté à présenter, grâce à des études de cas sur l'établissement de cartes et d'un inventaire forestier et l'évaluation de l'érosion des sols, une méthode de traitement des images et d'analyse des données aux fins de la gestion des ressources naturelles.

30. La première étude de cas concernait l'utilisation d'images Landsat TM pour l'établissement de cartes forestières. La méthode adoptée faisait appel à la photo-interprétation pour obtenir l'information requise. Plusieurs techniques de traitement ont été utilisées: correction géométrique, accentuation des contrastes et classification. Des données exogènes (cartes existantes et levés sur le terrain) ont également été utilisées pour établir les cartes finales.

31. Le deuxième projet a consisté à combiner les techniques de télédétection et celles des SIG pour élaborer des cartes des risques d'érosion. On a mis l'accent sur les méthodologies utilisées pour établir des cartes thématiques (température, ruissellement, sols, pente et exposition, utilisation des sols, indice de végétation) destinées à être intégrées dans des modèles

d'estimation de l'érosion. Le rôle des SIG dans l'analyse et la gestion des données a également été présenté.

4. Modèle de mélange linéaire aux fins de la cartographie de la végétation dans les terres arides

32. Établir des cartes du couvert végétal dans les terres arides est difficile parce que la contribution du sol aux propriétés spectrales de base de chaque pixel est élevée en raison de la faible densité de la végétation. Étant donné qu'il est très rare dans un tel environnement que le couvert végétal atteigne 100 %, la plupart des pixels correspondent à un mélange de végétation, de sédiments fins (sol) et de pierres. Ces pixels mélangés constituent la principale source d'erreur de classification dans les terres arides car les techniques de classification des images reposent sur l'hypothèse que les pixels sont purs. Malheureusement, cela n'est pas le cas dans les terres arides, où les classes de couverture du sol sont continues et non discrètes. En outre, de nombreuses classes communément désignées comme "zone urbaine" ou "roche nue" sont souvent hétérogènes d'un point de vue spectral étant donné qu'elles forment une mosaïque comprenant de nombreux matériaux spectralement différents et que les affleurements rocheux présentent des topographies qui entraînent des différences d'éclairement. Lorsqu'elle est importante, cette hétérogénéité à l'intérieur des classes se traduit par des taux d'erreur de classification élevés. En outre, ces méthodes de classification ne permettent pas d'obtenir des cartes objectives de la végétation en raison de l'intervention humaine qu'exigent des opérations hautement interactives telles que la définition des classes spectrales.

33. Il est évident que l'on a besoin, pour l'établissement de cartes de la végétation des terres arides, d'une méthode qui: a) utilise le maximum de données spectrales; b) tienne compte du fait que la plupart des pixels correspondent à des mélanges; c) neutralise les effets de l'atmosphère ainsi que les problèmes d'éclairement et de géométrie d'observation. Le modèle de mélange linéaire faisant appel au concept de spectre satisfait à toutes ces conditions.

34. Lors de l'exposé, les hypothèses sur lesquelles reposent le mélange linéaire ont été examinées et une

solution à la linéarité du problème de mélange a été proposée. Il a ensuite été rendu compte des résultats de l'application de cette procédure à un certain nombre d'images TM pour produire différentes cartes de la zone étudiée.

5. Évaluation de la classification en fonction de sa structure d'une image provenant d'un radar à ouverture synthétique

35. Dans le cadre de cet exposé, une comparaison a été faite entre deux méthodes de classification. La première faisait appel à une classification combinée fondée sur des informations relatives à la texture et des informations radiométriques; la seconde faisait appel uniquement à des informations radiométriques. L'analyse de texture a été effectuée au moyen de la matrice de cooccurrence des niveaux de gris (GLCM) sur la base des paramètres suivants: contraste, entropie, homogénéité, corrélation, homogénéité locale, directivité et uniformité.

36. Il a été démontré que l'utilisation des attributs de texture en plus de l'information radiométrique entraîne une amélioration importante de l'exactitude de la classification. Toutefois, aucune des deux méthodes ne permettait de faire une distinction entre des cibles situées dans des zones d'ombre et des zones directement exposées au signal du radar. L'exactitude de classification globale obtenue au moyen de la méthode GLCM était de 55 %, ce qui représentait une amélioration importante par rapport à la classification fondée uniquement sur des données radiométriques, dont l'exactitude n'était que de 35 %. Ce résultat peut être amélioré en éliminant l'effet du macrorelief afin d'isoler le microrelief qui caractérise l'information relative à la texture.

6. Classification combinée d'une image SPOT-XS au moyen d'informations sur la texture et d'informations multispectrales

37. L'analyse de texture joue un rôle important dans le traitement et la classification des images et l'interprétation des données de télédétection. La méthode GLCM est l'une des méthodes statistiques les plus utilisées dans la pratique pour mesurer la texture des images.

38. L'objectif de cette étude était de combiner des informations sur la texture et des informations

multispectrales afin de procéder à une classification combinée au moyen d'une image SPOT-XS.

39. Une procédure cartographique combinée fondée sur une méthode semi-automatique utilisant les procédures de classification supervisée de la même scène SPOT-XS a été appliquée au district de "Forum Tillich" dans le Haut Atlas oriental, au Maroc.

40. La combinaison des textures sur une image SPOT-XS et des propriétés spectrales sur la même image ont permis d'améliorer les classifications supervisées et ainsi de mieux distinguer les structures et les formations géologiques.

41. L'intégration dans un SIG de cartes établies à partir des données cartographiques existantes, du modèle numérique d'élévation (MNE) et d'informations dérivées a permis de dresser un inventaire géologique de cette zone et d'améliorer considérablement les anciennes cartes.

42. La texture des images SPOT-XS était directement liée à la géomorphologie. En y superposant la carte géologique obtenue dans le cadre de cette étude, il a été possible de présenter cette carte en trois dimensions (sous forme de blocs-diagrammes), ce qui a été très apprécié par les géologues.

7. Rôle et extraction des paramètres géophysiques dans l'étude des processus à la surface du sol

43. Les activités anthropogéniques sont devenues un important facteur influant sur le fonctionnement du système Terre. Le climat, les cycles mondiaux du carbone et de l'eau et la structure des écosystèmes naturels sont tous étroitement liés. Toute modification importante de l'un de ces systèmes a une influence sur les autres. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier et de modéliser les principales interactions des processus biologiques, chimiques et physiques qui déterminent les modifications du système Terre et qui sont les plus sensibles à l'action humaine. Les ensembles de données satellitaires constituent une source unique d'où il est possible d'extraire de nombreux paramètres géophysiques importants. Pour extraire ces paramètres, il est primordial de comprendre les données physiques du problème. Dans le cadre de cette étude, on a examiné l'utilité des données satellitaires pour estimer l'albédo de la surface, son émissivité, sa température et les paramètres physiques connexes. Ces paramètres ont été calculés au moyen de diverses méthodes. Des

algorithmes exploitant de façon efficace les données satellitaires ont été utilisés pour estimer l'albédo de la surface. On s'est également efforcé de déterminer l'émissivité en bande étroite et en bande large. Les principes des indices de végétation ont également été étudiés car ces indices servent à estimer l'émissivité de la surface. La mesure de ces paramètres renseigne sur la température physique de la surface. L'évapotranspiration, qui est une donnée importante tant du bilan hydrique que du bilan énergétique, a également été estimée à l'aide de données satellitaires. D'une manière générale, on s'est efforcé d'établir des estimations concernant des processus de surface pour lesquels il n'était pas possible de procéder à des mesures au sol.

C. Application des données de télédétection à la météorologie

Satellites météorologiques opérationnels en orbite géostationnaire et polaire

44. Depuis une vingtaine d'années, une flotte de satellites météorologiques opérationnels tournent autour de la Terre, transmettant des données d'une valeur inestimable qui viennent enrichir la météorologie opérationnelle et bien d'autres disciplines. Un réseau international de satellites placés bien au-dessus de l'équateur en orbite géostationnaire fournit, toutes les demi-heures, jour et nuit, des images des zones de latitude moyenne et des régions tropicales. Des satellites placés en orbite basse tournent toutes les 100 minutes autour de la Terre, allant d'un pôle à l'autre, en observant la planète deux fois par jour au moyen d'une batterie extraordinaire de capteurs puissants.

45. Au cours de cette période, les applications de ces satellites se sont développées bien au-delà des espérances de ceux qui ont établi ces systèmes il y a plus de 20 ans. Ces applications sont devenues indispensables, non seulement pour la météorologie, mais aussi pour la surveillance du climat et de la santé des océans, des surfaces terrestres et de l'atmosphère planétaire. La gamme des applications est si vaste qu'on peut à peine se tenir au courant des utilisations potentielles des satellites. Rares sont ceux qui auraient imaginé par exemple qu'on disposerait de satellites météorologiques pouvant mesurer avec une très grande précision la vitesse et la direction des vents de surface

au-dessus des océans sur toute la planète ou que le même satellite permettrait de suivre les migrations de la faune sauvage et de surveiller la croissance de la végétation? Même informé de ces possibilités, l'utilisateur potentiel peut ignorer quels instruments sont utilisés dans tel ou tel but, comment les données sont traitées pour produire les informations requises ou quelle entité dans le monde est en mesure de fournir davantage d'informations.

46. Le système mondial de satellites météorologiques opérationnels comprend une constellation d'au moins cinq satellites espacés régulièrement autour de l'équateur en orbite géostationnaire, et au minimum deux satellites en orbite quasi polaire. Les satellites géostationnaires volent à une altitude d'environ 36 000 km et chacun d'entre eux a la capacité de fournir de manière quasi continue des images et des services de télécommunications au-dessus d'une vaste région de la planète.

47. Chaque satellite peut produire des images plein disque couvrant pratiquement un quart de la surface terrestre jour et nuit. Les satellites en orbite polaire se déplacent sur une orbite beaucoup plus basse, aux alentours de 850 km, avec un plan orbital incliné à environ 80° par rapport au plan de l'équateur. Chaque satellite en orbite polaire peut observer la planète entière en 24 heures. Ces satellites tournent autour de la Terre en passant au-dessus des pôles nord et sud plusieurs fois par jour. Lors de cette révolution, la Terre semble faire un mouvement de rotation sous le plan de l'orbite. Les satellites balayent quotidiennement la surface tout entière.

D. Photogrammétrie numérique sur ordinateur individuel

48. L'introduction de la photogrammétrie numérique a totalement bouleversé le monde de la photogrammétrie. Avec des images numériques, il n'est plus nécessaire de recourir aux composants informatiques coûteux d'antan et un scanner suffit pour les photographies aériennes traditionnelles. L'Université de Hanovre a, en coopération avec l'Université de Düsseldorf (toutes deux situées en Allemagne), mis au point un logiciel qui peut accomplir les fonctions suivantes: mesure des coordonnées-images en vue de la correction par blocs, correction par macroblocs, mesure de paires

numériques stéréo, production d'un modèle numérique d'élévation (MNE) par l'appariement automatique d'images, filtrage des éléments n'appartenant pas au MNE, production d'orthophotos, mosaïques d'orthophotos et traitement des MNE. Ce traitement comprend le calcul des courbes de niveau, la représentation en trois dimensions, etc. Ce système est entièrement exploitable sur PC et facile à utiliser. Ainsi, on peut maintenant très facilement tout faire en photogrammétrie avec un simple PC.

49. Les photos donnent des informations sur les objets représentés, mais sans référence géométrique, ces informations sont inutiles. La photogrammétrie donne les coordonnées tridimensionnelles des informations en contexte. La photogrammétrie analogique et la photogrammétrie analytique, qui sont toutes deux des techniques éprouvées mais exigent des instruments coûteux, ont prévalu pendant longtemps. À l'heure actuelle, même les ordinateurs individuels ordinaires sont assez puissants pour traiter les images aériennes ou spatiales sans perte de résolution, si bien que les applications de la photogrammétrie numérique sont possibles sur un simple ordinateur individuel. Le seul composant informatique nécessaire en dehors de l'ordinateur, pour la photogrammétrie numérique est, en cas d'utilisation d'images analogiques, le scanner d'image. Pour obtenir le maximum de précision qu'autorise la photogrammétrie, il faut des scanners photogrammétriques spéciaux parce que les scanners pour microédition n'ont qu'un degré de précision d'environ +/- 50µm, même avec des photographies à plus haute résolution.

50. L'énorme avantage de la photogrammétrie numérique est la possibilité d'automatisation. Aujourd'hui, l'appariement automatique d'images ne prend pas longtemps et s'effectue beaucoup plus rapidement que la mesure manuelle d'un modèle numérique d'élévation.

51. Toutes les opérations nécessaires depuis l'image numérique jusqu'au résultat final peuvent être effectuées grâce au logiciel SIDIP, mis au point par l'Université de Hanovre en coopération avec l'Université de Düsseldorf.

E. Télédétection et SIG opérationnels à l'Organisation générale de télédétection

52. L'Organisation générale de télédétection (GORS) a été créée en République arabe syrienne en février 1986. Sise dans la banlieue de Damas, elle coopère avec les organismes gouvernementaux, les pays d'Asie occidentale et les organismes internationaux. Elle mène des études et des projets sur les applications de la télédétection à la géologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, l'agriculture, la planification urbaine, l'environnement, la météorologie et l'archéologie au moyen d'images Landsat et SPOT. Elle publie régulièrement un atlas de l'espace syrien, un glossaire de télédétection dans diverses langues et des revues de télédétection.

53. La GORS a essentiellement pour but de favoriser le développement durable du pays tout en préservant l'environnement. Il faut pour ce faire une gestion optimale des ressources naturelles, laquelle dépend à son tour de la disponibilité en temps opportun d'informations fiables aux niveaux national et régional. Les données de télédétection jouent un rôle de plus en plus important comme source d'information pour la gestion durable des ressources naturelles et la protection de l'environnement. Les SIG permettent d'intégrer les données de télédétection à des données provenant d'autres sources afin de permettre aux gestionnaires des ressources, aux planificateurs ainsi qu'aux responsables et décideurs d'obtenir plus facilement les informations pertinentes dont ils ont besoin. Pour faciliter cette gestion durable des ressources dans les pays d'Asie occidentale, la GORS organise des stages et des colloques dans le domaine de la télédétection et des SIG appliqués à diverses sciences de la Terre. Cette organisation, qui a accueilli l'atelier, est un établissement de formation de premier plan en Asie occidentale qui forme depuis plus de 20 ans des ressortissants de la République arabe syrienne et d'ailleurs. Elle dispose d'équipements informatiques dernier modèle tels que des ordinateurs personnels et des postes de travail haut de gamme équipés de périphériques modernes et de logiciels pour la télédétection et les SIG. Elle dispose aussi de laboratoires équipés pour traiter les données de terrain. Les participants à l'atelier ont eu la possibilité de se familiariser avec le matériel informatique et les

logiciels disponibles à l'Organisation au cours de séances de formation pratique à la réduction, au traitement et à l'analyse des données satellitaires ainsi qu'à diverses applications.

54. Durant les séances de formation pratique, l'attention a été appelée en particulier sur une étude récente concernant la recherche d'eaux souterraines par télédétection en République arabe syrienne, réalisée conjointement par la GORS, l'Italie et la FAO. Cette étude a révélé que l'intégration dans un SIG de données provenant des satellites d'observation de la Terre à celles recueillies traditionnellement, renforcée par quelques enquêtes sur le terrain et une connaissance géologique de la zone à étudier, permet de disposer d'un outil puissant pour la recherche de ressources en eaux souterraines.

Notes

¹ *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique*, chap. I^{er}, résolution 1, partie I, sect. 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.