



Assemblée générale

Distr. GENERALE

A/AC.105/617
15 novembre 1995

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMITE DES UTILISATIONS PACIFIQUES
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHERIQUE

RAPPORT SUR LE CINQUIEME STAGE INTERNATIONAL DE FORMATION D'ENSEIGNANTS AUX TECHNIQUES DE TELEDETECTION

(Stockholm et Kiruna, Suède, 2 mai-9 juin 1995)

TABLE DES MATIERES

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
INTRODUCTION	1 - 9	2
A. Généralités et objectifs	1 - 3	2
B. Organisation et programme du stage	4 - 9	2
I. APERCU DU STAGE	10 - 27	3
A. Acquisition des données de télédétection	10 - 13	3
B. Interprétation et application des images	14 - 21	4
C. Intégration des données fournies par un SIG et préparation des cartes	22 - 26	5
D. Mise au point des programmes d'étude	27	6
II. EVALUATION DU STAGE	28 - 30	6
III. PROPOSITION DE SUIVI	31	7
<i>Annexes</i>		
I. Programme of the course		8
II. Description of projects		14

INTRODUCTION

A. Généralités et objectifs

1. Le cinquième stage de formation d'enseignants aux techniques de télédétection, qui s'est tenu à Stockholm et Kiruna (Suède), du 2 mai au 9 juin 1995, a été organisé par le Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales en coopération avec le Gouvernement suédois. Ce stage a également été parrainé par l'Agence suédoise pour la coopération technique et économique internationale (BITS), au nom du Gouvernement suédois et a été accueilli par le Département de géographie physique de l'Université de Stockholm et l'Agence spatiale suédoise (SSC Satellitbild).
2. Le stage était destiné spécifiquement aux enseignants des universités des pays en développement afin de leur donner les moyens d'introduire des éléments des techniques de télédétection dans leurs programmes d'enseignement.
3. Le présent rapport décrit l'organisation du stage, les sujets abordés et les projets entrepris par les participants. Le choix des projets reflétait à la fois les intérêts scientifiques des participants et les thèmes d'actualité en matière de développement dans leur pays d'origine. Le rapport contient une évaluation des travaux et expose le suivi proposé. Il a été élaboré à l'intention du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et de son Sous-Comité scientifique et technique.

B. Organisation et programme du stage

4. Des formulaires d'inscription et des brochures d'information sur le stage ont été envoyés au début de décembre 1994 par le Bureau des affaires spatiales aux bureaux du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) pour être transmis aux autorités nationales compétentes. Ils ont également été expédiés par l'Université de Stockholm aux ambassades de Suède dans 75 pays ainsi qu'aux participants des stages précédents pour qu'ils les distribuent localement. Ces 75 pays, dont les besoins de développement correspondent aux priorités suédoises, ont été sélectionnés par l'Agence suédoise pour la coopération technique et économique internationale (BITS). Le Bureau des affaires spatiales de l'ONU et l'Université de Stockholm ont reçu et examiné conjointement plus de 110 demandes.
5. Les participants, au nombre de 25 dont trois femmes, venaient des pays ci-après : Egypte, Ethiopie, Kenya, Népal, Nigéria, Ouganda, Pakistan, République-Unie de Tanzanie, Sénégal, Sri Lanka, Swaziland, Viet Nam et Zimbabwe. Les cours ont été assurés par des représentants du Bureau des affaires spatiales, de la BITS, de l'Agence spatiale européenne, de SSC Satellitbild, de l'Université de Stockholm, du Conseil suédois des activités spatiales, de l'Institut technique royal, de la Société suédoise pour la conservation de la nature et de l'Université d'Uppsala.
6. L'ONU a financé le voyage de 12 participants de pays en développement. Le Gouvernement suédois a pris à sa charge tous les autres frais, c'est-à-dire le logement et les repas, le matériel pédagogique et les transports locaux de tous les participants, ainsi que les frais de voyage par avion de 13 d'entre eux.
7. Des allocutions ont été prononcées lors de la cérémonie d'ouverture par le Président de l'Université de Stockholm et par le représentant du Bureau des affaires spatiales. Le représentant de la BITS a donné un aperçu de la politique suédoise en matière d'aide ainsi que quelques indications sur la restructuration dont les organisations d'aide suédoise faisaient l'objet. Cette restructuration avait été achevée et la BITS a été remplacée par l'Agence suédoise pour le développement international.
8. Le programme du stage (voir annexe I) a été mis au point par le Département de géographie physique de l'Université de Stockholm, en collaboration avec le Bureau des affaires spatiales. Le stage comprenait une série de conférences et des exercices en laboratoire et sur le terrain. Des visites techniques ont été effectuées sur un certain nombre de sites intéressants, y compris la station réceptrice de l'ESA à Salmijarvi et la station de satellites Esrange ainsi que la mine souterraine de Kirunavaara. Six journées ont été passées dans les installations de télédétection et de cartographie de la SSC Satellitbild à Kiruna. Les participants ont disposé de trois journées et demie pour

interpréter visuellement des images de télédétection des régions qu'ils avaient sélectionnées. Parmi les temps forts du stage figurait la présentation par les participants des résultats de leurs projets d'interprétation visuelle. Une description des projets se trouve à l'annexe II.

9. La section I ci-dessous donne un résumé des sujets abordés au cours du stage. Elle décrit notamment les principes de base de la télédétection par satellite et des systèmes d'information géographique (SIG) que les utilisateurs doivent suffisamment maîtriser afin de pouvoir se servir efficacement des données de télédétection pour résoudre les problèmes de développement national ou les questions scientifiques identifiées par les participants. Les sections II et III respectivement présentent une évaluation des travaux ainsi que des propositions de suivi.

I. APERÇU DU STAGE

A. Acquisition des données de télédétection

10. Les données fournies par différents satellites (par exemple le satellite européen de télédétection (ERS), le satellite de télédétection terrestre (Landsat), le Système pour l'observation de la terre (SPOT), Resurs, le satellite japonais d'observation des ressources terrestres (JERS), le satellite de télédétection indien (IRS) et Meteosat) se sont avérées utiles pour l'analyse des problèmes de développement national, en particulier ceux touchant à l'évaluation des ressources naturelles et à la surveillance de l'environnement. Comme le stage portait en particulier sur l'interprétation visuelle des données d'observation de la terre, l'accent a été mis sur les données fournies par les satellites Landsat et SPOT.

11. Des demandes d'images satellite et de produits connexes peuvent être adressées à plusieurs fournisseurs, y compris Satellitbild. Les utilisateurs peuvent également accéder directement à des métadonnées, c'est-à-dire à des informations sur la disponibilité et la qualité des images satellite, ou même visionner des échantillons d'images. Les métadonnées sont de plus en plus souvent disponibles sur CD-ROM (comme le Réseau européen d'archivage des données sur la couleur des océans, un système de consultation de base d'images, et par le système de survol sur CD des données fournies par le radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR), Ionia). Certaines bases de données peuvent également être consultées par l'intermédiaire d'Internet.

12. Un certain nombre de critères importants, tels que la nébulosité, la date et la fréquence de l'acquisition d'images et les caractéristiques spectrales et spatiales, doivent être pris en compte lors de la commande d'images de télédétection par satellite. Ainsi, la nébulosité totale d'une image donnée peut être tout à fait acceptable, mais les nuages présents peuvent obscurcir la zone géographique spécifique à laquelle on s'intéresse. Il est donc souhaitable de visionner les images avant de les acheter.

13. La date de l'acquisition des images a une incidence directe sur leurs diverses utilisations. Par exemple, les images prises pendant la saison des pluies sont utiles pour déterminer le couvert végétal, mais ne sont pas adaptées pour effectuer une cartographie des reliefs et des sols. La capacité qu'a un satellite de repasser au-dessus d'une même région joue également un rôle dans les applications potentielles des images. Des images d'une zone géographique donnée peuvent être prises quotidiennement par un instrument AVHRR, tandis que les satellites Landsat TM et SPOT ne peuvent repasser que tous les 16 et 26 jours respectivement. Dans le cas du satellite SPOT, ce délai pourrait être ramené à un ou quatre jours si l'on utilisait la capacité du capteur à viser dans une direction autre que le nadir pour faciliter la surveillance de phénomènes brefs, comme certaines catégories de catastrophes naturelles.

B. Interprétation et application des images

14. L'apparence des images de télédétection est déterminée par plusieurs facteurs, y compris les caractéristiques du capteur, du terrain et les conditions atmosphériques. Les satellites IRS, Landsat, Meteosat et SPOT fournissent des données multibande. Ces bandes sont choisies afin de pouvoir mieux détecter et distinguer entre eux les éléments intéressants (par exemple végétation, sols, eau et nuages) et vont des parties visibles aux parties infrarouges du spectre électromagnétique. Les radiomètres optiques multibande à balayage analysent l'énergie solaire réfléchi

émise par la surface de la terre. En revanche, les satellites radar tels que ERS-1 et 2, JERS et Radarsat, fonctionnent en hyperfréquence. Ces satellites transportent des instruments qui émettent des hyperfréquences par impulsion et mesurent le temps mis par l'écho pour revenir à la source.

15. Les radiomètres multibande à balayage sont normalement utilisés pour prendre des images de jour. Les conditions atmosphériques locales peuvent affecter les données recueillies par ces radiomètres (les nuages par exemple peuvent empêcher l'observation des caractéristiques du sol) mais pas les images prises par les satellites radar. En général, les radiomètres multibande et les radars exploitent différentes parties du spectre électromagnétique et peuvent souvent fournir des informations complémentaires utiles pour régler un certain nombre de problèmes de développement national.

16. Mis à part les caractéristiques radiométriques (nombre et types de bandes) d'un capteur donné par rapport aux caractéristiques spectrales des éléments recherchés, le type d'images satellite qui serait utile pour une application donnée dépend du niveau de détail requis. La résolution des images constitue souvent un facteur déterminant d'une application, étant donné qu'elle indique le plus petit élément de surface qu'il sera possible de distinguer. Dans le cas des bandes visibles de Meteosat par exemple, la résolution est de 2,5 km alors que dans le cas des images multibande du satellite SPOT elle est de 20 mètres. Ce niveau de résolution rend les images SPOT utiles à la préparation des cartes allant jusqu'à une échelle maximale de quelque 1:50 000.

17. Les images brutes collectées par les capteurs optiques à bord des satellites sont corrigées pour tenir compte des distorsions radiométriques et géométriques, afin de faciliter leur interprétation visuelle ultérieure ou la classification par ordinateur et afin qu'elles puissent être superposées sur des cartes existantes comme cela est nécessaire par exemple dans un SIG. Pour répondre aux besoins et aux capacités des utilisateurs, les fournisseurs de données de télédétection offrent généralement plusieurs produits à valeur ajoutée, avec des niveaux différents de traitement et de correction (correction systématique et correction ciblée). La première consiste à corriger l'image pour tenir compte des distorsions prévisibles dues à des facteurs tels que la rotation de la Terre au cours de la prise d'images. La correction ciblée consiste en corrections géométriques réalisées grâce à des transformations mathématiques fondées sur plusieurs points de référence communs (groupe de points de repère au sol) identifiés à la fois sur l'image non corrigée et sur une carte planimétrique correspondante à une échelle appropriée (c'est-à-dire 1/50 000 pour les images Landsat). La transformation nécessaire pourrait aussi être effectuée en utilisant un groupe de points de référence au sol déterminés grâce au système mondial de localisation. Afin de faciliter les comparaisons entre les images obtenues à des dates et dans des conditions différentes, on pourrait opérer des corrections radiométriques, qui tiennent compte des variations d'éclairage ainsi que des caractéristiques géométriques et des réactions des instruments.

18. L'utilisateur final peut demander des images satellite sous forme numérique ou sous forme de photographies. Différents types d'améliorations (transformations qui rendent les images plus faciles à interpréter) peuvent être apportées aux données numériques brutes afin de mieux les adapter à une application spécifique : accentuation des contrastes, filtrage, établissement de bandes, formation d'images en couleurs composées, etc. Il est possible de commander auprès des fournisseurs des photographies ayant déjà subi des améliorations spécifiques convenant à une application donnée. Toutefois, les données sous forme numérique donnent à l'utilisateur plus de souplesse pour procéder, au fur et à mesure de ses besoins, à des améliorations locales ou globales des images ou à des classifications adaptées à un certain type d'applications. Le fait de disposer des données sous forme numérique facilite également leur incorporation ultérieure dans un système d'information géographique. Pour transformer des images numériques, il faut toutefois disposer d'un matériel (ordinateur et imprimante grand format) et de logiciels qui font défaut à certains départements universitaires. L'interprétation visuelle d'images améliorées à partir de données numériques est, elle, moins coûteuse.

19. Il importe de vérifier sur le terrain les cartes thématiques élaborées à partir d'images interprétées pour assurer la fiabilité des informations fournies par les images de télédétection. Le traditionnel compas magnétique constitue un outil simple et irremplaçable pour établir la correspondance entre les sites sur l'image et sur le terrain. On utilise aussi de plus en plus le système mondial de localisation en raison de sa simplicité, de son coût modéré et de sa grande précision.

20. Les éléments de la surface de la Terre qui apparaissent sur l'image peuvent être classifiés numériquement grâce à une série d'approches dirigées et non dirigées. L'approche dirigée suppose que l'opérateur connaisse certaines données de terrain apparaissant sur l'image dans les catégories recherchées (sol, eau ou type de végétation). Cette information est ensuite utilisée pour servir de guide au cours du processus de classification informatique. Par contre, dans une classification non dirigée, les catégories sont déterminées par analyse des statistiques des images multibande en question. Pour une classification visuelle, les images multibande sont améliorées afin de mettre en relief les éléments intéressants (par exemple les eaux peu profondes en opposition au relief du sol) avant de produire des clichés sur papier et de les interpréter. L'analyste doit utiliser des éléments d'interprétation photographique (texture, forme, relief, topographie, linéaments, etc.) pour faciliter la classification visuelle, au cours de laquelle les limites géographiques des diverses catégories sont tracées sur le cliché. Ces traces pourraient par la suite être introduites dans un SIG sous forme de carte vectorielle par numérisation. La carte vectorielle peut être transformée en mode rastré pour répondre aux besoins de l'analyse.

21. Il est désormais reconnu que les données de télédétection servent à une vaste série d'applications comme en témoigne la variété des projets entrepris par les participants (voir tableau à l'annexe II) qui portaient sur des applications visant les environnements terrestre et marin. Les applications terrestres concernaient l'agriculture (érosion des sols, déboisement, aménagement du territoire et envasement), la géologie et l'hydrologie (érosion des berges, gestion des eaux souterraines), l'atténuation des effets des catastrophes naturelles (glissements de terrains, crues de lacs glaciaires, avalanches, débris, inondations, etc.), la météorologie, la pollution et l'urbanisation. La seule application maritime portait sur les problèmes dus à la prolifération d'algues.

C. Intégration des données fournies par un SIG et préparation des cartes

22. Un système géographique d'information comprend le matériel, le logiciel et les éléments de données qui permettent le stockage, l'analyse et la présentation d'informations. Les données dans un SIG sont géoréférencées (c'est-à-dire qu'elles portent sur des coordonnées géographiques réelles et précises), ce qui permet de superposer exactement différentes cartes thématiques d'une même région. Les cartes doivent donc avoir des niveaux similaires de généralisation (c'est-à-dire des échelles similaires) et des projections géométriques similaires. Dans l'ensemble, un SIG donne quatre types de données, à savoir des points, des lignes, des tables et des zones. Les zones peuvent se présenter sous forme de polygones, ou en mode vectoriel, ou rastré. Différentes opérations (calque, analyse de voisinage, interpolation, classification et analyse de séries chronologiques) peuvent être réalisées sur les quatre types de données au cours de l'analyse spatiale faisant suite à une demande.

23. Les demandes peuvent n'exiger qu'une simple restitution des données du SIG et ne pas nécessiter de manipulation entre différents niveaux de données. D'un autre côté, elles peuvent entraîner la manipulation, simple ou complexe, de plusieurs niveaux de données en fonction de diverses règles ou modèles (mathématique, heuristique, système experts, etc.). Le SIG peut également servir à des simulations (par exemple pour déterminer l'incidence d'une modification de l'aménagement du territoire sur les risques de ruissellement et d'inondation, ou l'effet d'un approvisionnement en eau sur le rendement des récoltes).

24. Son aptitude à répondre rapidement et de manière interactive aux questions posées ont fait du SIG un outil inestimable pour la prise de décisions étant donné qu'il permet de voir ce que donneraient différents scénarios avant de mettre en oeuvre une décision finale. Par exemple, le SIG permet de répondre facilement à une question relativement simple, comme par exemple : "quelles sont les terres adaptées à une agriculture pluviale qui se prêteraient à l'utilisation de matériel mécanique et qui se trouvent à moins de 10 kilomètres de grands axes ferroviaires, routiers ou fluviaux ?" Pour répondre à cette question, il faut disposer de données sur les sols, les chutes de pluie, la pente du terrain et les réseaux routiers, ferroviaires et fluviaux.

25. Pour établir un SIG, il faut avant tout assembler une base de données adaptée au type de problèmes à résoudre. Cela pourrait constituer un obstacle car, à moins que les données n'existent déjà sous forme numérique, il faut qu'elles soient converties, souvent par des techniques manuelles onéreuses (numérisation manuelle). Le partage des données pourrait permettre de constituer rapidement une base de données de SIG. Toutefois, il faut régler d'abord la question des normes à respecter afin d'éviter des problèmes dus à des données inexacts. Dans l'ensemble,

l'acquisition et l'entrée de données utiles constituent l'un des aspects les plus critiques et souvent les plus onéreux de l'établissement d'un SIG.

26. Mis à part ses capacités analytiques, un SIG est souvent utilisé pour préparer des cartes sur papier montrant certains éléments spatiaux à partir d'une ou plusieurs sources numériques ainsi que les résultats d'une analyse spatiale complexe. Cette utilisation du SIG permet de réaliser des cartes sur mesure adaptées à leur utilisation finale, au fur et à mesure des besoins. Pour exploiter parfaitement cette possibilité, il faut avoir des notions de cartographie (données géodésiques, ellipsoïde de référence, projection cartographique et système mondial de localisation).

D. Mise au point des programmes d'étude

27. Les facteurs qui influencent la création d'un nouveau cours varient considérablement entre différents établissements universitaires, même à l'intérieur d'un pays. Il est donc nécessaire d'adopter une approche structurée de la formulation des programmes qui tienne compte des contraintes et des possibilités spécifiques d'un établissement donné. Avant de mettre en place un nouveau cours, il faudrait examiner les questions ci-après : place du cours dans le système éducatif (s'intégrerait-il dans un autre cours ou aurait-il sa place distincte); groupe cible (diplômes et niveau requis pour y prendre part); but du cours (théorique ou pratique); mise en oeuvre (durée et composition en termes de cours magistraux et de travaux pratiques); programme d'enseignement; projet de travaux (quels types de projets seraient possibles compte tenu des informations disponibles); évaluation (les étudiants seraient-ils évalués sur la base des travaux pratiques et des séminaires); personnel enseignant (nombre d'enseignants compétents disponibles); installations et équipements; et questions financières.

II. EVALUATION DU STAGE

28. Les réponses au questionnaire portant sur l'ensemble du cours ont été analysées par un petit comité de participants dont les membres avaient été choisis par les participants eux-mêmes. La présentation officielle des résultats de l'analyse a été faite le dernier jour du cours par un membre du comité devant tous les participants et le représentant de la BITS, du Département de géographie de l'Université de Stockholm et de l'ONU. Les débats qui ont suivi cette présentation ont permis à tous les participants de s'exprimer.

29. Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

a) Tous les participants auraient souhaité que davantage de temps soit consacré aux exercices pratiques de télédétection et d'utilisation d'un SIG;

b) Environ 80 % des participants ont estimé que le stage avait été bien conçu;

c) Environ 70 % des participants ont jugé le stage très bénéfique;

d) Environ 90 % des participants ont été satisfaits de la durée du cours.

30. Certains participants ont estimé qu'ils auraient du mal à appliquer dans leur travail actuel les connaissances qu'ils venaient d'acquérir. Parmi les difficultés qu'ils ont citées, liées essentiellement à l'absence de fonds suffisants, figurait l'accès à des données de télédétection et à des ordinateurs et des logiciels de SIG et de traitement des images.

III. PROPOSITION DE SUIVI

31. Les résultats de l'évaluation du cours montrant que les participants souhaitent vivement une formation accrue aux techniques de traitement d'images numériques, le Bureau des affaires spatiales a envisagé d'organiser, par l'intermédiaire de l'Agence suédoise pour le développement international, un stage de perfectionnement à l'intention des enseignants dans le domaine de la télédétection, qui portera surtout sur les techniques informatiques appliquées

aux données de télédétection. Pour suivre ce stage, les participants devraient déjà connaître les techniques visuelles d'interprétation des images et il pourrait donc s'agir des enseignants ayant suivi le stage d'introduction. On envisage d'alterner dans les années à venir le stage d'introduction et le stage de perfectionnement.