



**Assemblée générale**

Distr.  
GENERALE

A/AC.105/526  
28 janvier 1993  
FRANCAIS  
ORIGINAL : ANGLAIS

COMITE DES UTILISATIONS PACIFIQUES  
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHERIQUE

RAPPORT SUR LE STAGE INTERNATIONAL DE FORMATION D'ENSEIGNANTS AUX  
TECHNIQUES DE TELEDETECTION, ORGANISE PAR L'ONU EN COOPERATION  
AVEC LE GOUVERNEMENT SUEDOIS

(Stockholm et Kiruna (Suède), 11 mai-12 juin 1992)

TABLE DES MATIERES

	<u>Paragrapes</u>	<u>Page</u>
INTRODUCTION .....	1 - 14	2
A. Généralités et objectifs .....	1 - 7	2
B. Organisation et programme .....	8 - 14	3
I. APERCU DU STAGE .....	15 - 51	4
A. Systèmes de télédétection par satellite .....	15 - 25	4
B. Interprétation visuelle des images satellite .....	26 - 30	7
C. Utilisation des images satellite pour l'établissement de cartes .....	31 - 35	8
D. Evaluation des risques d'érosion .....	36 - 42	10
E. Impact de la régularisation des cours d'eau sur l'environnement .....	43 - 51	12
II. EVALUATION DU STAGE .....	52 - 53	14
<u>Annexes</u>		
I. PROGRAMME DU STAGE .....		15
II. LISTE DES PARTICIPANTS .....		20

## INTRODUCTION

### A. Généralités et objectifs

1. A sa trente-septième session, l'Assemblée générale a adopté la résolution 37/90 du 10 décembre 1982, dans laquelle elle a approuvé la recommandation de la deuxième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE 82) tendant à ce que le Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales favorise la croissance de "noyaux" de techniciens autochtones et la mise en place d'une base technique autonome pour ce qui est des sciences et des techniques spatiales dans les pays en développement.
2. A sa trente-quatrième session, en juin 1991, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a approuvé les activités du Programme pour 1992 telles qu'elles ont été proposées par le Spécialiste des applications des techniques spatiales et recommandées par le Sous-Comité scientifique et technique du Comité à sa vingt-huitième session. A sa quarante-sixième session, l'Assemblée générale a approuvé les activités du Programme pour 1992 (résolution 46/45 du 9 décembre 1991).
3. Comme suite à la résolution 46/45 et conformément aux recommandations d'UNISPACE 82, le Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales a prévu, dans le cadre de ses activités pour 1992, d'organiser un stage de formation d'enseignants aux techniques de télédétection. Le stage a également été organisé par le Gouvernement suédois en tant que contribution aux activités menées par l'ONU à l'occasion de l'Année internationale de l'espace, qui prévoyait la mise en place de capacités autochtones dans le domaine de la télédétection par la formation d'enseignants.
4. Le stage a été organisé en coopération avec le Gouvernement suédois par l'intermédiaire de l'Agence suédoise pour la coopération technique et économique internationale (BITS), à l'intention des pays en développement, et accueilli par l'Université de Stockholm et l'Agence spatiale suédoise. Il s'est déroulé à Stockholm et à Kiruna du 11 mai au 12 juin 1992.
5. Le stage visait essentiellement à développer les connaissances pratiques des enseignants de pays en développement dans le domaine des techniques de télédétection et à donner les moyens d'introduire des éléments de ces techniques, selon que de besoin, dans les programmes d'enseignement de leurs universités et instituts de recherche.
6. Le présent rapport, qui contient des informations générales sur le stage, ses objectifs et son organisation ainsi qu'un aperçu des divers exposés, a été établi à l'intention du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et de son Sous-Comité scientifique et technique. Les participants feront de leur côté rapport aux autorités compétentes de leurs pays respectifs.

/...

7. Les participants ont exprimé leur gratitude à l'ONU et au Gouvernement suédois pour ce stage, pour l'aide financière accordée et pour la qualité technique du stage.

#### B. Organisation et programme

8. Les participants, au nombre de 27, venaient des pays ci-après : Bangladesh, Colombie, Costa Rica, Equateur, Ethiopie, Mexique, Mozambique, Nigéria, Ouganda, Pakistan, Panama, Papouasie-Nouvelle-Guinée, République démocratique populaire lao, République-Unie de Tanzanie, Sri Lanka, Suriname, Swaziland, Thaïlande, Uruguay, Venezuela, Viet Nam et Zambie. On en trouvera la liste à l'annexe II du présent rapport.

9. Les fonds alloués par l'ONU ont servi à financer les frais de voyage par avion de cinq participants. Le Gouvernement suédois a pris à sa charge le logement et les repas, les transports locaux et l'argent de poche de tous les participants ainsi que les frais de voyage par avion de 22 participants.

10. Le programme du stage a été conçu conjointement par l'ONU, l'Université de Stockholm et l'Agence spatiale suédoise, SSC Satellitbild. L'ONU était chargée de l'organisation générale et le Gouvernement suédois, par l'intermédiaire de l'Université de Stockholm, de l'Agence spatiale suédoise et de l'Agence suédoise pour la coopération technique et économique internationale (BITS), s'est occupé de l'organisation à l'échelle locale; il a également fourni l'équipement technique, la documentation et les installations et assuré les transports locaux. On trouvera le programme du stage à l'annexe I du présent rapport.

11. Le stage a été ouvert au nom du Gouvernement suédois par M. S. Petersson, du BITS. M. S. Chernikov, du Bureau de l'espace extra-atmosphérique, a souhaité la bienvenue aux participants, au nom de l'ONU. Une déclaration a été faite, au nom de M. A. A. Abiodun, Spécialiste des applications des techniques spatiales de l'ONU, lors de la cérémonie de clôture.

12. Les exposés ont porté principalement sur le développement et l'utilisation des techniques de télédétection pour la gestion des ressources naturelles et la planification de l'environnement ainsi que sur la mise au point et l'introduction de programmes d'enseignement de la télédétection dans les pays des participants. D'autres sujets ont également été abordés au cours de ce stage de cinq semaines : aperçu des applications de la télédétection, essentiellement à partir d'études spécifiques dans lesquelles les données et les images satellite utilisées concernaient les pays des participants; principes de l'analyse des images optiques et numériques; différentes utilisations des systèmes d'information géographique sur le terrain; et enseignement de la télédétection. Le programme comportait en outre des travaux sur le terrain, des exercices pratiques et une formation dans les domaines pertinents.

/...

13. Divers participants et conférenciers invités ont fait des exposés sur des projets ou programmes auxquels ils collaboraient. Ils ont parlé notamment de projets spécifiques exécutés dans des pays d'Afrique, d'Asie du Sud-Est et d'Amérique latine, et des applications de la recherche et de la formation en télédétection dans les pays en développement.

14. De nombreux exercices pratiques ont donné aux participants une expérience directe de l'interprétation visuelle des données de télédétection. Le stage a été complété par des visites à la station au sol de l'Agence spatiale suédoise (Esrange) et à ses installations et laboratoires situés à Satellitbild, Kiruna.

## I. APERCU DU STAGE

### A. Systèmes de télédétection par satellite

#### 1. Le système Landsat

15. Le système Landsat, qui fournit des données et des images depuis 1972, a permis de couvrir la plupart des régions du monde, les mêmes zones étant observées à différentes périodes de l'année. Cette couverture cyclique ou multitudes constitue l'un des principaux avantages du système dans la mesure où elle permet la détection anticipée et la surveillance de phénomènes présentant des dangers pour l'environnement ou des variations saisonnières de l'activité agricole, de la végétation naturelle, etc.

16. Ce système présente un autre atout majeur par rapport à la photographie aérienne classique, à savoir la capacité multibande des groupes capteurs installés à bord du satellite, de fonctionner en mode multispectral. En effet, le système multibande de Landsat ne se borne pas à prendre des photographies d'une scène dans le visible et le très proche infrarouge à la manière d'une chambre à films, il peut enregistrer des images dans différentes bandes du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique. L'analyse d'une image obtenue dans une bande donnée du spectre, ou de la combinaison de deux ou plusieurs bandes (images), peut aider à distinguer des traits et des détails topographiques qu'il serait difficile d'identifier par d'autres moyens. On trouvera dans le tableau ci-dessous les bandes spectrales dans laquelle opèrent les deux systèmes de capteurs Landsat, à savoir le scanneur multibande (SMB) et l'instrument de cartographie thématique (TM). La résolution spatiale des images obtenues est de 80 mètres pour le SMB et de 30 mètres pour le TM.

/...

Gammes de fréquence dans lesquelles opèrent  
les détecteurs Landsat et SPOT

(um)

Numéro de bande	Landsat		SPOT	
	SBM	TM	SX	P
1	0,5-0,6	0,45-0,52	0,50-0,59	0,51-0,73
2	0,6-0,7	0,52-0,60	0,62-0,68	
3	0,7-0,8	0,63-0,69	0,79-0,89	
4	0,8-1,1	0,76-0,90		
5		1,55-1,75		
6		10,4-12,5		
7		2,08-2,55		

2. Le système SPOT

17. Le système de télédétection par satellite SPOT ressemble à bien des égards aux systèmes Landsat. Il présente des caractéristiques multispectrales et multibandes analogues et peut assurer la couverture de larges zones.

18. SPOT se distingue toutefois par sa capacité à fournir des images de la même zone depuis des orbites consécutives. Alors que Landsat donne une représentation sans contraste de la surface située directement au-dessous du satellite, SPOT peut être programmé pour observer la même zone lors de ses trois orbites suivantes (ou précédentes). Cela permet d'établir une image quasi stéréoscopique pouvant être utilisée pour la cartographie topographique. Des études récentes ont montré qu'il était possible d'élaborer des orthophotocartes topographiques au 1/50 000 ou à des échelles supérieures, avec une équidistance de 20 mètres, par des mesures directes effectuées à partir d'images numériques.

19. SPOT permet d'obtenir des images de la Terre avec une résolution de 20 mètres en mode multibande et de 10 mètres en mode panchromatique. Toutefois, la haute résolution augmente jusqu'à neuf fois le nombre de pixels traités par unité. Pour que toutes ces données puissent être prises en compte, on a réduit les dimensions de la scène SPOT à 3 600 kilomètres carrés, soit le dixième de celles du champ au sol observée par le SMB de Landsat. Il faudra davantage d'images SPOT pour couvrir la même zone que Landsat, d'où une augmentation des coûts.

3. Produits standard Landsat

20. Des épreuves-minutes permettant une visualisation rapide peuvent être obtenues sous la forme de tirages papier à petite échelle des images Landsat

/...

pour apprécier la couverture nuageuse et la localisation de la scène. Elles sont produites par le SMB mais couvrent les mêmes zones que les images TM obtenues simultanément.

21. Des images à haute résolution sont disponibles sous forme d'épreuves photographiques en noir et blanc ou en couleur. On peut choisir les bandes spectrales à des fins déterminées ou les conjuguer en un composé couleurs. Etant donné le plus grand nombre de pixels que contiennent les images TM correspondantes, les produits photographiques ne sont traités que sous forme de quarts d'image. L'échelle la plus courante pour les épreuves obtenues avec le SMB est le 1/1 000 000, tandis que pour les produits TM, c'est le 1/500 000 (quart de scène).

22. Les données numériques que fournissent les capteurs SMB et TM se présentent sous la forme de scènes complètes dans toutes les bandes spectrales ou dans une bande unique. On peut également obtenir des données TM ne couvrant qu'un quart de scène SMB. Les données sont fournies sous forme brute ou après correction des variations radiométriques et des déformations géométriques.

#### 4. Produits standard SPOT

23. Les produits standard SPOT couvrent des scènes entières ou des fractions de scène. Une scène est constituée par une tranche de 60 kilomètres de longueur, sur 60 à 80 kilomètres de largeur, selon que l'image est prise en visée verticale ou latérale. Les scènes sont identifiées par rapport à une grille prédéterminée appliquée sur la surface terrestre et en fonction de la latitude et de la longitude.

24. On peut se procurer des produits standard correspondant à trois étapes de traitement :

Niveau 1A. Il s'agit essentiellement de données brutes (non traitées). On a égalisé toutefois les réponses des détecteurs dans chaque bande spectrale. Les coefficients d'étalonnage appliqués entre les bandes et les valeurs absolues sont également indiqués. Les données ne sont pas corrigées géométriquement. L'angle de visée de l'instrument est spécifié. Ce niveau de traitement convient particulièrement aux études radiométriques élémentaires et les projections stéréo.

Niveau 1B. Les données ont subi des corrections radiométriques et géométriques, pour tenir compte de la rotation et de la courbure de la Terre et de l'angle de visée des instruments.

Niveau 2. Produits ayant fait l'objet de corrections de la précision géométriques. Après avoir subi les corrections radiométriques prévues au niveau 1B, l'image est de nouveau corrigée en fonction de cartes ou de points de contrôle au sol et présentée sous la forme d'une projection cartographique optionnelle. Le traitement s'effectue sans modèle numérique de terrain. Cela signifie que pour les zones dont le relief est relativement bas et qui sont

/...

observées avec une visée pratiquement à la verticale, on peut obtenir une précision de localisation de 5 mètres dans le cas des clichés panchromatiques et de 10 mètres dans le cas des clichés couleur.

#### 5. Produits SPOT spéciaux

25. Outre les produits standard ci-dessus, plusieurs produits spéciaux sont actuellement disponibles ou le seront dans un avenir proche, notamment les suivants :

- Données multispectrales et panchromatiques combinées;
- Images d'autres bandes de terrain que la scène observée dans le sens de la trace du satellite;
- Mosaïque d'images résultant du montage de deux scènes connexes dans le sens de la trace du satellite;
- Mosaïque d'images résultant du montage de quatre scènes adjacentes;
- Photographies de quarts de scène;
- Photographies grand format;
- Couples stéréoscopiques;
- Modèles numériques de terrain élaborés à l'aide de couples stéréoscopiques SPOT;
- Produits géocodés géométriquement de "niveau 3" dans lesquels les distorsions locales ont été éliminées en utilisant des repères au sol et des modèles numériques de terrain.

#### B. Interprétation visuelle des images satellite

26. Lorsque le système Landsat a été introduit, les attentes qu'ont suscitées ses applications pratiques ont été très nombreuses, notamment dans les pays en développement. La surveillance des changements environnementaux et l'établissement d'inventaires des ressources naturelles dans les régions où les moyens de surveillance classiques des pays industrialisés faisaient défaut (stations au sol et systèmes de télédétection aérienne, etc.) figuraient parmi les tâches les plus importantes qu'il fallait mener à bien pour pouvoir faire face à la demande accrue d'informations sur les ressources terrestres.

27. Or, le pouvoir de résolution relativement faible des premières images obtenues et les quantités considérables de données recueillies ont favorisé le développement des systèmes informatisés d'analyse des données. Lorsque ces systèmes ont été mis en place dans les pays en développement, on a fait essentiellement appel, pour les exploiter, à du matériel et à du personnel étrangers alors que, dans le domaine de l'étude des sols et de leurs

/...

ressources, les connaissances et compétences qui existaient déjà sur place demeuraient le plus souvent inutilisées. Bien que de nombreuses études aient été effectuées par des experts étrangers, les spécialistes locaux n'ont pas été formés aux principes qui sont à la base des techniques utilisées. Après le départ des experts étrangers, l'expérience acquise en matière de formation a eu un impact limité sur les nouvelles applications pratiques et sur le processus de développement. En outre, on a surestimé les possibilités que pouvaient offrir les techniques de télédétection assistée par ordinateur et l'absence de résultats applicables a, dans une certaine mesure, déçu les experts locaux.

28. L'interprétation visuelle des images satellite, conjuguée à une connaissance approfondie du processus physique qui aboutit à la production de ces images, peut souvent, notamment dans les pays en développement, être préférable aux analyses numériques. Elle permettrait de mieux tirer parti des compétences locales et pourrait faciliter l'application des résultats. En outre, l'introduction du système de télédétection par satellite SPOT, qui donne des images à pouvoir de résolution bien plus élevé et permet des prises de vues stéréoscopiques rendrait l'application de cette méthode plus aisée.

29. L'interprétation visuelle offre aussi un autre avantage : on peut utiliser le même type d'équipement que pour les travaux conventionnels d'interprétation et de tracé de cartes effectués à partir de photographies aériennes. Or, tous les pays en développement sont équipés de matériel de ce type et, ce qui est plus important encore, possèdent du personnel qualifié qui connaît bien les conditions locales. En revanche, pour une bonne partie des travaux assistés par ordinateur, il faut faire appel à du matériel et à des spécialistes étrangers.

30. Si les applications pratiques des techniques d'interprétation visuelle des images satellite progressent dans les pays en développement, c'est parce que ces pays ont besoin d'obtenir rapidement des données fiables pour pouvoir évaluer leurs ressources terrestres et hydrauliques. L'interprétation visuelle des images Landsat et SPOT se fait dans la plupart des cas à partir d'images en noir et blanc des différentes bandes spectrales ou à partir de composés fausse couleur. Il arrive souvent que, pour améliorer la classification des différents éléments du paysage ou surveiller les changements annuels ou saisonniers, on effectue des analyses bitemporelles ou multitudes.

#### C. Utilisation des images satellite pour l'établissement de cartes

31. Bien que les cartes d'occupation des sols établies à l'aide d'images satellite et de levés par cheminement ne soient pas d'aussi bonne qualité que celles que l'on obtient par photo-interprétation, rien ne prouve qu'elles soient beaucoup moins utiles. C'est ainsi que l'interprétation de photographies aériennes à l'échelle 1/250 000 d'une région du Soudan a pris huit mois/homme pour 1 000 kilomètres carrés, alors que pour l'observation d'une superficie analogue effectuée au moyen d'images Landsat et par

/...



photo-interprétation partielle, il n'a fallu que 1,5 mois/homme pour 1 000 kilomètres carrés. Une petite équipe a réussi, en interprétant des clichés Landsat d'échelle 1/1 000 000, à assurer la couverture de l'ensemble du territoire éthiopien en l'espace d'un an, tâche qu'il aurait été impossible de réaliser par photographie aérienne.

32. En conséquence, si les levés effectués à l'aide de données satellite donnent des résultats relativement moins bons, disons "moitié moins bons", leur coût est en revanche au moins 10 fois inférieur. Les données obtenues par unité de coût sont nettement supérieures et peuvent aussi être recueillies beaucoup plus rapidement. Etant donné que les levés de reconnaissance sont d'une utilité limitée pour la planification du développement, les données qu'ils sont censés fournir pourraient tout aussi bien être obtenues à l'aide de données satellite.

33. Le stade initial, à savoir le tracé de limites provisoires à l'aide d'images satellite, part du même principe que l'interprétation des photographies aériennes. Il consiste à repérer et à délimiter, par déduction, les configurations de terrain et la couverture végétale (végétation/occupation des sols). Ces données provisoires sont plus hypothétiques et approximatives que les données obtenues par analyse stéréoscopique de documents aériens, d'où la nécessité de modifier ou d'ajouter certains détails lorsqu'on effectue des levés par cheminement. Une méthode combinant, pour des zones-échantillons données, la couverture complète par images satellite et la photo-interprétation classique constitue souvent le meilleur moyen d'effectuer des levés de reconnaissance.

34. En 1976, on a dressé une carte du grand bassin versant du Ruaha qui, situé dans la partie centrale de la République-Unie de Tanzanie, s'étend sur 65 000 kilomètres carrés. Dans la pratique, le seul moyen d'établir cette carte était de recourir à des images satellite. On a constaté que la précision des informations obtenues à l'aide d'images satellite variait en fonction du relief, de la végétation et des caractéristiques de terrain. Les données géomorphologiques les plus détaillées ont été recueillies dans des espaces libres (herbages et prairies boisées, etc.) et dans des zones à haut relief (montinsules, etc.). En revanche, c'est dans les zones boisées de faible altitude, où les signaux renvoyés par les traits géomorphologiques de petite échelle (par exemple, types de sol) pouvaient à peine être distingués des signaux intenses renvoyés par la couverture végétale, que l'on a obtenu le moins d'informations.

35. Le principal avantage que l'on retire en substituant les images satellite aux assemblages de photographies aériennes classiques est le suivant : sur les images satellite, les zones qui correspondent à un même type de sol ou de végétation portent les mêmes couleurs. Les couleurs sont de bons indicateurs des types de sol et conditions hydrographiques qui varient suivant la teneur en eau et la végétation. Par la suite, des essais portant sur l'utilisation d'images satellite SPOT aux fins de l'établissement d'une carte de la même zone ont été effectués, et l'option stéréoscopique a permis d'affiner l'interprétation des plans d'occupation des sols et d'améliorer la classification par types de sol.

/...

D. Evaluation des risques d'érosion

36. L'analyse des risques d'érosion est une méthode qui vise à décrire les dangers physiques que l'érosion des sols fait peser sur de vastes régions. Pour évaluer ces risques, on tient généralement compte de divers facteurs d'érosion, tels que le pouvoir érosif des précipitations, l'érodabilité des sols et la couverture végétale. On choisit ensuite les variables qui peuvent le mieux décrire les incidences que chacun de ces facteurs peut avoir sur l'érosion, on localise chacune de ces variables, puis on conjugue tous ces résultats pour obtenir une estimation du risque global.

37. Une méthode qui a été mise au point à l'intention des pays d'Afrique australe consiste à établir des prévisions de risque d'érosion fondées exclusivement sur des données physiques relatives au pouvoir érosif des précipitations, à l'érodabilité des sols, à la couverture végétale/plan d'occupation des sols et à la topographie (les données relatives au relief ayant été compilées à partir de cartes topographiques). Dans ces pays, on établit actuellement des cartes des risques d'érosion, indiquant pour chaque pays les zones à risques. Les applications pratiques de ces techniques sont particulièrement évidentes lorsque l'on veut évaluer rapidement les risques qui pèsent sur des régions plus petites ou sur des zones pour lesquelles on ne possède pas de données pédologiques, topographiques et pluviométriques suffisamment précises. Dans ces cas-là, il est préférable de faire appel aux applications de la télédétection.

38. Dans une étude qui vient d'être réalisée en Tanzanie et qui est consacrée aux risques que la centrale hydroélectrique de Mtera fait courir à l'environnement, l'évaluation des risques d'érosion était fondée sur l'interprétation d'images satellite SPOT combinée à l'aide des levés de terrain portant sur des superficies limitées. Les images satellite SPOT utilisées dans le cadre de cette étude étaient des diapositives stéréoscopiques (composés fausse couleur) d'échelle 1/400 000. Pour interpréter ces données, on a utilisé un stéréoscope avancé et reporté les résultats sur des feuilles transparentes recouvrant des clichés agrandis d'échelle 1/100 000. La carte du réseau hydrographique a été tracée de façon à inclure les rigoles de classe 1, et les unités géomorphologiques (occupation des sols, types de sols) ont été représentées en fonction de l'importance qu'elles revêtaient en tant que sources de sédiments, zones de dépôt et zones de stockage temporaire de sédiments.

39. Pour classifier l'intensité d'érosion, on a fait appel à un système sud-africain dont l'application devrait être conjuguée à l'interprétation de photographies aériennes. Par la suite, on a modifié ce système pour pouvoir l'utiliser avec des images satellite. Comme l'érosion en nappe est le type d'érosion qui peut être le plus facilement détecté par satellite, en raison de la haute réflectivité des dépôts du sous-sol ou dépôts sédimentaires, il était normal que l'inventaire lui soit exclusivement consacré. Les travaux de classification et d'interprétation ont porté sur une grille de 1 x 1 kilomètre carré représentée sur une feuille transparente. Grâce au pouvoir de résolution élevé des images SPOT, on a pu retenir les cinq classes d'érosion initiales ci-après :

/...

Classe 1 : Invisible à l'oeil nu. Aucun signe apparent d'érosion. Le niveau de conservation des sols paraît élevé.

Classe 2 : Légère. Certains zones d'érosion (de couleur bleu pâle) apparaissent sur les images. L'érosion est due à une couverture végétale insuffisante, à la présence de dépôts sédimentaires et de souches végétales (observés sur le terrain).

Classe 3 : Moyenne. Les zones d'érosion apparaissent clairement sur les images. La couverture végétale est très insuffisante. Les dépôts sédimentaires sont nombreux et se caractérisent souvent par la présence de petites rigoles (observées sur le terrain).

Classe 4 : Forte. Une érosion en nappe d'une aussi forte intensité se caractérise toujours par la présence de ravines et de rigoles. Une bonne partie de l'horizon-A a disparu.

Classe 5 : Très forte. Mêmes caractéristiques que pour la classe 4. Ce type d'érosion est observé sur la majeure partie de la zone définie comme zone d'érosion à rigoles de classe 5.

40. Deux nouvelles classes ont été ajoutées, qui correspondent à différentes zones d'accumulation ou de stockage temporaire de sédiments. La classe I comprend les zones de stockage de sédiments situés sur des versants colluviaux et la classe II les dépôts de plaines d'inondation, les dépôts d'éboulis et les dépôts fluvio-glaciaires en forme de tresse.

41. Les risques qui pèsent sur l'environnement de la zone où se trouve le réservoir sont liés à des changements au niveau de l'utilisation des sols qui, en provoquant une dégradation de la végétation et des sols, entraînent une accumulation de sédiments dans le réservoir. Cependant, dans ce cas-là, la plupart des sédiments sont charriés par les cours d'eau principaux. D'après des estimations établies dans le cadre d'un programme d'échantillonnage des eaux antérieur,  $4 \times 10^6$  tonnes de sédiments se déposeraient chaque année dans le réservoir.

42. Dans le cadre de l'étude SPOT, des cartes du réseau hydrographique (ruisseaux et rigoles), des unités géomorphologiques et de l'intensité de l'érosion en nappe ont été dressées (par interprétation visuelle des images SPOT). Pour évaluer les risques que l'utilisation des sols faisait courir à la région du réservoir, on a effectué une analyse des facteurs fondée sur les résultats obtenus par cartographie thématique. On a ainsi établi la classification suivante :

a) Réseau hydrographique :

- 1) Zones à bassin clos, écoulement en direction de régions situées en amont des principales zones de sédimentation, etc.;

/...

- 2) Ecoulement par l'intermédiaire de canaux (rigoles) qui se jettent directement dans des cours d'eau, lesquels se déversent ensuite dans le réservoir;
- 3) Zones à forte intensité de drainage (par exemple sols à rigoles), déversement direct dans le réservoir;

b) Intensité d'érosion :

- 1) Erosion de classe 1, dépôts de classes I et II;
- 2) Erosion de classes 2 et 3;
- 3) Erosion de classes 4 et 5;

c) Indicateurs de risques pour l'environnement :

0-5 : faibles;

6-8 : modérés;

Supérieur à 9 : élevés.

E. Impact de la régularisation des cours d'eau sur l'environnement

43. La surveillance de l'environnement et les études écologiques relatives à la construction de retenues sur les cours d'eau permettent d'identifier et de décrire un certain nombre de mesures qu'il conviendrait d'envisager de prendre avant, pendant et après la construction d'une retenue. La surveillance continue des changements de l'environnement doit être conduite directement sur le terrain ou, pour certains des objectifs d'étude, à l'aide d'autres méthodes indirectes telles que la télédétection.

44. Dans tout projet d'aménagement d'un cours d'eau, il importe de planifier l'avenir avant et pendant la construction ainsi qu'au moment où la retenue a atteint son niveau maximal et où l'exploitation commerciale a commencé. Dans le cadre de la planification préalable aux travaux de construction, la documentation relative à l'ouvrage doit être établie de façon que l'on puisse prévoir et suivre les changements futurs. De plus, le système de surveillance doit permettre de suivre les changements de façon à différencier les impacts intervenant au cours de la phase de construction de ceux qui se produiront à long terme.

45. Il conviendra d'étudier les facteurs suivants :

a) Géoécologie de la partie amont du bassin d'alimentation. Ces études doivent notamment renseigner sur les processus géomorphologiques (à savoir l'érosion des sols, le drainage, la pente), le climat et l'hydrologie, la végétation et l'utilisation des terres, ainsi que tous les facteurs importants pour évaluer l'érosion et les risques pour l'environnement;

/...

b) La retenue et la région avoisinante. Ces études doivent porter sur la morphologie, les variations du niveau de l'eau, la dégradation des terres de la région avoisinante, l'aménagement du littoral (important du point de vue des maladies liées à l'eau et du cadre de vie), l'envasement de la retenue, la qualité de l'eau et la végétation aquatique.

46. Il est impossible de dire avec certitude quel type de végétation aquatique croîtra dans une retenue. La croissance de la végétation dépend d'un grand nombre de facteurs écologiques à action réciproque, comme le pH de l'eau et de la boue, les nutriments et l'oxygène dissous, les températures de l'eau, le vent et les vagues, et la baisse annuelle du niveau de l'eau. On peut toutefois prédire sans risque d'erreur que la végétation aquatique passera par un certain nombre de phases avant d'atteindre un certain équilibre. L'implantation d'une végétation aquatique "stable" prendra beaucoup de temps et sera influencée essentiellement par l'importance de la baisse de niveau pendant plusieurs années consécutives, mais aussi par les variations annuelles de ce niveau. Les deux facteurs les plus importants sont le pluviosité et les travaux de régularisation à réaliser, qui sont soit inconnue ou impossibles à prévoir.

47. Une plante aquatique peut être appelée mauvaise herbe quand elle commence à causer des problèmes, s'agissant par exemple des opérations de stockage et d'ingénierie menées sur la retenue ou de la possibilité d'utiliser celle-ci à des fins multiples.

48. La croissance rapide ou explosive des herbes aquatiques pendant les premières années d'un lac artificiel, comme dans les cas des lacs Kariba et Volta, a été liée à un niveau élevé de nutriments dans l'eau, lui-même dû à l'immersion dans l'eau de matières organiques en décomposition.

49. Les zones situées à l'aval. Les questions à surveiller concernent la morphologie et le transport des sédiments (en d'autres termes, il faut se demander comment les variations de régime hydrologique influent sur l'érosion des berges et le transport des sédiments) et, dans certains cas, les modalités suivant lesquelles la diminution du transport des sédiments et la variation de régime hydrologique agissent sur les zones côtières, les plaines inondables en aval et la qualité de l'eau.

50. Le milieu aquatique, ou le changement du milieu aquatique, est important dans l'apparition de plusieurs maladies en Afrique. Il est également important en ce qui concerne la surveillance des changements de l'environnement. C'est ainsi que les moustiques qui se reproduisent dans l'eau sont les vecteurs du paludisme et des maladies provoquées par les filaires. Les simulies, qui se reproduisent également dans l'eau, transmettent la cécité des rivières.

51. La propagation de la bilharziose est facilitée par la présence d'un escargot aquatique qui est l'hôte du parasite. De façon plus indirecte, l'eau elle-même peut également déterminer l'apparition de maladies. C'est ainsi que si la végétation change du fait de la présence d'eau et qu'il en résulte

/...

l'apparition d'une végétation dense, celle-ci pourra constituer un habitat approprié pour la maladie transmise par la mouche tsétsé.

## II. EVALUATION DU STAGE

52. A la fin du stage, on a demandé aux participants de répondre à un questionnaire portant sur divers aspects de son contenu et de son organisation, le temps alloué à chaque question et aux exercices pratiques, et sur l'intérêt du stage pour leurs activités quotidiennes. Un débat a ensuite eu lieu sur les problèmes relatifs à l'enseignement de la télédétection dans les pays en développement. Au cours des discussions, les participants ont commenté à plusieurs reprises les points positifs du stage et formulé des recommandations pour les stages ultérieurs.

53. Tous les participants ont noté la grande qualité de l'organisation générale et de la planification des exposés. Suivant leur expérience et leur domaine de compétence, certains ont estimé qu'il aurait fallu consacrer plus de temps aux systèmes d'information géographique et à l'enseignement de la télédétection. Tous les participants ont déclaré que le niveau et le contenu du stage étaient adaptés aux besoins de leurs travaux pédagogiques et théoriques. Ils ont exprimé leur gratitude au Gouvernement suédois et à l'ONU pour avoir organisé le stage.

Annex I

PROGRAMME OF THE COURSE

I. INTRODUCTION

<u>Date</u>	<u>Time</u>	<u>Subject</u>	<u>Speaker</u>
Monday 11 May	10 a.m.	Introductory lectures:	
		Remote sensing and global change	Prof. Thomas Rosswall
		Remote sensing - current status and future trends of the technology	Prof. Leif Wastenson
	2 p.m.	Management of natural resources and the environment - role of of remote sensing	Mrs. Marie Byström
	2.45 p.m.	Presentation of the Department of Physical Geography	Carl Christiansson Stig Jonsson and Bengt Lundén

II. FUNDAMENTAL PRINCIPLES

Tuesday 12 May	9 a.m.	Electromagnetic radiation, the reflective properties of the Earth and elementary optics	Dr. Johan Kleman
	1 p.m.	Electromagnetic radiation, the reflective properties of the Earth and elementary optics (continued)	Dr. Kleman
Wednesday 13 May	9 a.m.	Electronic imaging	Prof. Quiel
	1 p.m.	Electronic imaging (continued)	Prof. Quiel
Thursday 14 May	9 a.m.	Modern cartography in thematic mapping	Dr. Göran Alm
	1 p.m.	Image geometry and map	Dr. Göran Alm

/...

<u>Date</u>	<u>Time</u>	<u>Subject</u>	<u>Speaker</u>
Friday 15 May	9 a.m.	Image interpretation - theory	Dr. Göran Alm
	1 p.m.	The new generation of environmental satellites - the case of ERS-1	Mr. Jürg Lichtenegger
III. IMAGE INTERPRETATION			
Monday 18 May	9 a.m.	Earth resources and environmental satellites	Prof. Friedrich Quiel
		Lectures on the use of imagery for:	
	1 p.m.	(a) Land-use planning and environmental monitoring	Prof. Friedrich Quiel
	2.30	(b) Geological studies	Prof. Bengt Lundén
Tuesday 19 May	8.30 a.m. to 4.30 p.m.	Case-studies	
Wednesday 20 May	8.30 a.m. to 4.30 p.m.	Case-studies	
AFRICA			
		Land and water development in Ethiopia	Dr. Rolf Ake Larsson
		Land degradation and soils in Lesotho	Prof. Bengt Lundén
		Land-use mapping in the United Republic of Tanzania	Prof. Lennart Strömquist
SOUTH-EAST ASIA			
		Environmental impact assessment of hydropower development in the Lao People's Democratic Republic	Prof. Strömquist

/...



<u>Date</u>	<u>Time</u>	<u>Subject</u>	<u>Speaker</u>
		Environmental impact assessment of the closure of a river arm in Bangladesh	Dr. Rolf Ake Larsson
		Land degradation and soils in Lesotho	Prof. Bengt Lundén
		LATIN AMERICA	
		Ecuador	Dr. Rolf Ake Larsson
		Land-use mapping in the United Republic of Tanzania	Prof. Strömquist
		Land degradation and soils in Lesotho	Prof. Bengt Lundén
IV. DIGITAL IMAGE PROCESSING AND ANALYSIS/GIS			
Thursday 21 May	9 a.m.	Digital analysis	Prof. Wolter Arnberg
	1 p.m.	Computer image enhancement	Prof. Arnberg
Friday 22 May	9 a.m.	Geographical Information Systems (GIS theory)	Prof. Friedrich Quiel
	1 p.m.	GIS theory (continued)	Prof. Quiel
Monday 25 May	8.30 a.m.	Computer-aided analysis	Prof. Bengt Lundén
	1 p.m.	Computer-aided analysis (continued)	Prof. Lundén
Tuesday 26 May	8.30 a.m.	GIS exercise	Prof. Lundén
	1 p.m.	GIS exercise (continued)	Prof. Lundén
V. REMOTE-SENSING EDUCATION AND PROJECT MANAGEMENT			
Wednesday 27 May	8.30 a.m.	Project management - theoretical background and role-playing exercise	Ms. Kristina Boman
	1 p.m.	Project management (continued)	Ms. Boman

/...

<u>Date</u>	<u>Time</u>	<u>Subject</u>	<u>Speaker</u>
	2 p.m.	In-service remote-sensing training in the developing countries	Dr. Rolf Ake Larsson
	6 p.m.	Departure from Stockholm harbour. Cruise to Helsinki, Finland	
Thursday 28 May to Sunday 31 May		Cruise to Helsinki, Finland and back. During the cruise, lectures and work in groups on remote-sensing education case-studies under the direction of Professor Wolter Arnberg take place.	

## VI. REMOTE-SENSING APPLICATIONS

Monday 1 June		Fieldwork exercise. Excursion in the fieldwork area, demonstration of image material, exercises in landscape feature interpretation	Prof. Strömquist
Tuesday 2 June		Fieldwork exercise: image interpretation	Prof. Strömquist
Wednesday 3 June		Presentation of results of the field exercise	Prof. Strömquist
Thursday 4 June		Demonstration of the production facilities at Satellitbild	
		Satellite data processing, image production, satellite image maps	Mr. Torbjörn Westin Mr. Dan Klang Mr. Tommy Lundquist
		Digital map production at the National Land survey, LM-Kartor	Mr. Mats Dahlberg
		Presentation of case-studies from SSC Satellitbild	Mr. Henric Osterlund Mr. Lars Björk
		Visit at the Salmijärvi and Esrange receiving stations. Data reception, pre-processing	

/...

<u>Date</u>	<u>Time</u>	<u>Subject</u>	<u>Speaker</u>
Friday 5 June		Practical applications: visual interpretation exercises in groups using imagery in (simulated) projects from the participants' home countries	Mrs. Marie Byström
Saturday 6 June		Practical applications (continued)	Mrs. Byström
Tuesday 9 June		Practical applications (continued). Preparations for the presentation of the results of the visual interpretation project work.	Mrs. Byström
Wednesday 10 June		Presentation of the results of the visual interpretation project work	Mrs. Byström
VII. NEEDS OF THE USER			
Thursday 11 June	9 a.m.	Data acquisition, data correction, image production and costs. How to select the right type of data for a given task	Mr. Alf Erik Oskog, Mr. Jan Unga, Mr. Samuel Forslund, Mr. Per Zeidlitz, Mr. Jörgen Ek, Mr. Anders Persson
	2 p.m.	Trends in remote-sensing contributions to research and applications in the third world. Discussion between participants and teachers	Dr. Stein W. Bie
Friday 12 June	9 a.m. to 12 noon	Course evaluation Closing ceremony	Prof. Wolter Arnberg, Dr. Rolf Bergström, Dr. Rolf Ake Larssen, Prof. Bengt Lundén

/...

Annex II

LIST OF PARTICIPANTS

AFRICA

Mr. Sirak K. Isak  
Department of Biology  
Addis Ababa University  
P.O. Box 1176  
ADDIS ABABA Ethiopia

Mr. Ademola S. Omojola  
Dept. of Geography and  
Planning  
University of Lagos  
Nigeria

Mr. Nasani Batungi  
Makerere University  
P.O. Box 16215  
KAMPALA Uganda

Mr. Virgilio P. Ferrao  
National Directorate for  
Geography and Cadastre  
C.P. 2102  
MAPUTO Mozambique

Ms. Miranda Miles  
Dept. of Geography  
University of Swaziland  
P/B 04 KWALUSENI  
Swaziland

Mr. Mufalo M. Mbinji  
Geography Dept.  
University of Zambia  
P.O. Box 32379  
LUSAKA Zambia

Dr. Taiwo R. Ajayi  
Dept. of Geology  
Awolowo University  
ILE-IFE  
Osun State Nigeria

Mr. Pius Yanda  
Institute of Resource  
Assessment  
University of Dar es Salaam  
P.O. Box 35097  
DAR ES SALAAM Tanzania

Dr. Daniel S. Tevera  
Dept. of Geography  
University of Zimbabwe  
P.O. Box MP 167  
HARARE Zimbabwe

SOUTH-EAST ASIA

Dr. Rahman Mohammad R.  
Inst. of Flood Control &  
Drainage Research  
University of Engineering and  
Technology  
DHAKA 1000 Bangladesh

Mr. Jerry Sipuman  
Dept. of Surveying and Land  
Studies  
University of Technology  
LAE  
The Papua New Guinea

Dr. Kaew Mualchavee  
Asian Inst. of Technology  
GPO Box 2754  
BANGKOK 10501  
Thailand

Mr. Somsavanh Phommetha  
Hydropower Eng. Consultants  
Pangum Rd  
P.O. Box 2352  
VIENTIANE Lao PDR

Dr. Amala Jayasekera  
Dept. of Agricultural  
Engineering  
Faculty of Agriculture  
University of Peradeniya  
PERADENIYA Sri Lanka

Mr. Chira Prangkio  
Dept. of Geography  
Faculty of Social Sciences  
Chiangmai University  
CHIANGMAI Thailand

Dr. Azam A. Khwaja  
Dept. of Earth Sciences  
Quaid-I-Azam University  
ISLAMABAD Pakistan

Dr. Sunil S. Wickramasuriya  
Dept. of Civil Engineering  
University of Moratuwa  
MORATUWA, Sri Lanka

Mr. Nguyen Q. Thin  
Centre for Remote Sensing  
Information Processing  
National Centre for Scientific  
Research  
NAHIA DO-TU  
Lien-Hanoi Vietnam

LATIN AMERICA

Dr. Fernando A. Zapata  
Dept. de Biología  
Universidad del Valle  
Apartado Acro, 25360  
CALI Colombia

Dr. Rosa Maria Prol-Ledesma  
Inst. de Geofísica  
Mexican National University  
Universitaria  
COYOACAN 04510  
Mexico D.P.  
Mexico

Ms. Renate Tjon-Lim-Sang  
Centre for Agricultural  
Research  
Adek University  
Faculty of Technology  
P.O. Box 1914  
PARAMARIBO Suriname

Mr. Alvaro S. Burgos  
Center for Geophysical  
Research  
Universidad de Costa Rica  
SAN JOSE Costa Rica

Mr. Alberto Caballero  
Estafeta Universitaria  
Apdo. 10761  
PANAMA CITY  
Republica de Panama

Ms. Ana Maria Martinez  
Dept. of Geography  
Universidad de la Republica  
Tristan Narvaja 1674  
11200 Montevideo  
Uruguay

Mr. Cesar M. Guevara  
Centro de Levantamientos  
Integrados de Recursos  
Naturales por Sensores  
Remotos (CLIRSEM)  
C.P.18-08-8216  
QUITO Ecuador

Mr. Lasford E. Douglas  
Panama Estafeta University  
PANAMA CITY  
Republica de Panama

Ms. Carmen L. Goitia Blanco  
Instituto de Ingeniera Poba  
International in Caracas,  
Venezuela  
Mailing address:  
#438 P.O. Box 02-5255  
Miami, Florida

-----