



## Assemblée générale

Distr.  
GÉNÉRALE

A/AC.105/644  
13 septembre 1996

FRANÇAIS  
ORIGINAL : ANGLAIS

COMITÉ DES UTILISATIONS PACIFIQUES  
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHÉRIQUE

### RAPPORT DE L'ATELIER DE FORMATION ORGANISATION DES NATIONS UNIES/AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE SUR LES APPLICATIONS DE LA TÉLÉDÉTECTION HYPERFRÉQUENCE, EN COOPÉRATION AVEC LE GOUVERNEMENT PHILIPPIN

(Manille (Philippines), 22-26 avril 1996)

#### TABLE DES MATIÈRES

	Paragraphes	Page
INTRODUCTION .....	1 - 10	2
A. Historique et objectifs .....	1 - 4	2
B. Organisation et programme de l'Atelier .....	5 - 10	2
I. OBSERVATIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'ATELIER .....	11 - 26	3
A. Disponibilité et accessibilité des données .....	12 - 14	3
B. Applications pratiques des données radar .....	15 - 22	4
C. Éducation et formation requises .....	23 - 26	6
II RÉSUMÉ DES EXPOSÉS .....	27 - 69	7
A. Programme d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne .....	27 - 35	7
B. Mission d'un satellite de pointe d'observation de la Terre .....	36 - 40	8
C. Application des techniques de télédétection par radar aux Philippines .....	41 - 48	9
D. Surveillance des rizières en Thaïlande au moyen de données obtenues par radar à synthèse d'ouverture du satellite européen de télédétection .....	49 - 52	10
E. Utilisation du radar à synthèse d'ouverture du satellite européen de télédétection pour la surveillance de l'utilisation des sols et des zones côtières en Indonésie .....	53 - 56	11
F. Projet Communauté européenne/Agence spatiale européenne/Association des nations de l'Asie du Sud-Est .....	57 - 65	11
G. Distribution d'images par SPOT Image .....	66 - 69	13

## INTRODUCTION

### A. Historique et objectifs

1. L'Assemblée générale a adopté la résolution 37/90 du 10 décembre 1982, dans laquelle elle faisait siennes les recommandations de la deuxième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE 82) et décidé, entre autres, que le Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales devrait favoriser la diffusion d'informations sur les applications des techniques spatiales de pointe et sur la mise au point de nouveaux systèmes dans les États Membres, en particulier à l'intention des pays en développement.
2. L'Atelier de formation Organisation des Nations Unies/Agence spatiale européenne sur les applications de la télédétection hyperfréquence se situait dans le cadre des activités menées en 1996, en vue de l'application de ce programme, et il s'est tenu du 22 au 26 avril 1996. Ces activités ont été approuvées par l'Assemblée générale dans sa résolution 50/27 du 6 décembre 1995. L'Atelier a été organisé en coopération avec le Gouvernement philippin et était accueilli par la National Mapping and Resource Information Authority (NAMRIA), au profit de participants de pays en développement.
3. L'objectif de l'Atelier était de familiariser les participants avec les divers aspects des systèmes de télédétection hyperfréquence actuels et futurs ainsi qu'avec les applications des données radar à l'exploration des ressources naturelles et à la surveillance de l'environnement. L'expérience et les programmes d'un certain nombre de pays, en particulier ceux de la région de la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP) des Nations Unies, dans le domaine de la mise au point et des applications de la télédétection hyperfréquence ont fait l'objet d'exposés. L'Atelier s'est terminé par les délibérations d'un groupe de travail qui a examiné trois domaines principaux : disponibilité et accessibilité des données; applications pratiques des données radar; éducation et formation requises.
4. Le présent rapport qui traite de l'historique, des objectifs, de l'organisation, des observations et conclusions de l'Atelier et qui donne un résumé des exposés a été rédigé à l'intention du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et de son Sous-Comité scientifique et technique. Les participants à l'Atelier rendront compte de celui-ci aux autorités compétentes de leur pays.

### B. Organisation et programme de l'Atelier

5. Les participants étaient des professionnels possédant une expérience de plusieurs années dans le domaine de la télédétection, de la gestion des ressources naturelles et de programmes connexes pouvant tirer parti des applications de la télédétection hyperfréquence. Ont assisté à la réunion 68 participants appartenant aux pays, aux organes des Nations Unies et organisations internationales ci-après : Afghanistan, Australie, Bangladesh, Canada, Chine, Etats-Unis d'Amérique, Fidji, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Japon, Malaisie, Népal, Palaos, Philippines, République de Corée, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande, Vanuatu et Viet Nam; Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et Bureau des affaires spatiales de l'Organisation des Nations Unies; Agence spatiale européenne (ESA) et SPOT Asie (Satellite pour l'observation de la Terre : satellite français d'observation de la Terre).
6. Les subventions accordées par l'ONU et l'ESA pour l'organisation de l'Atelier ont permis de financer les frais de voyages internationaux et l'indemnité journalière de subsistance de 20 participants de la région de l'Asie et du Pacifique. Le Gouvernement philippin, par l'intermédiaire de la NAMRIA, a fourni les installations et le matériel de conférence nécessaires, il a assuré les transferts locaux et a offert les déjeuners aux participants.
7. Les personnalités suivantes ont prononcé des allocutions de bienvenue : M. J. Solis, Administrateur de la NAMRIA, au nom du Gouvernement philippin; M. J. Lichtenegger, au nom de l'ESA; et M. A. A. Abiodun, Spécialiste des applications des recherches spatiales au Bureau des affaires spatiales de l'ONU.
8. Le programme de l'Atelier a été établi conjointement par l'Organisation des Nations Unies et l'ESA et il portait sur les principaux domaines ci-après : a) programmes nationaux (exposés de MM. M. Nur, Indonésie; S. Park, République de Corée; V. Phan, Viet Nam; L. Posadas, Philippines; K. Osman Salleh, Malaisie; M. Sebastien, Inde; et C. Keng Yew, Singapour); b) télédétection radar par engin spatial dans les années 90 (exposés de MM. S. Ahmed, Canada; Y. Bechacq, SPOT Asie; J. Guifei, Chine; J. Lichtenegger, ESA; E. Paylor, Etats-Unis d'Amérique; P.V.N. Rao, Inde; et H. Wakabayashi, Japon); c) traitement et étalonnage des données radar (exposés de MM. M. Higashi, Japon; J. Lichtenegger, ESA; et R. Chumann, ESA); d) application des données radar (exposés de MM. S. Kanchanasutham, Thaïlande; M. Khan, Bangladesh; J. Lichtenegger, ESA; E. Lopez, Philippines; N. Mahnood, Malaisie; A. Milne, Australie; M. Bin Seenii Mohd, Malaisie; M. Nur, Indonésie; A. Pineda, Philippines; et R. Punongbayan, Philippines); enfin, e) coopération internationale (exposés de MM. A. A. Abiodun, Bureau des affaires spatiales; D. Pradhan, PNUE; et R. Schumann, ESA). Le programme de l'Atelier a également compris une visite des installations de la NAMRIA à Manille.

9. L'Atelier a compté un certain nombre de séances plénières et de séances de groupe de travail. Au cours de ces dernières, les participants ont examiné les questions liées à la télédétection hyperfréquence. Leurs observations et recommandations sont résumées à la section I du présent rapport. Les participants ont également noté que les recommandations devraient être élaborées dans le cadre d'un échange d'idées international, favorisé par la nature même de l'Atelier, fondé sur la collaboration. Afin de renforcer cette collaboration et d'évaluer la mise en oeuvre des recommandations des groupes de travail, les participants ont décidé qu'un atelier de suivi devrait avoir lieu dans les deux ans qui suivraient.

10. À la conclusion de l'Atelier, les participants se sont déclarés satisfaits de la qualité scientifique et technique du programme et des exposés présentés. Ils ont en outre exprimé leurs remerciements aux coorganisations pour l'appui reçu qui avait rendu possible leur participation à l'Atelier, ainsi qu'à la NAMRIA pour la coopération et l'appui de son personnel administratif et technique.

## I. OBSERVATIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'ATELIER

11. Les travaux du groupe de travail ont porté sur les trois grands domaines ci-après concernant la télédétection hyperfréquence : disponibilité et accessibilité des données; applications pratiques des données radar; enfin, éducation et formation requises. Au cours des débats, on a évoqué l'expérience acquise en matière de télédétection hyperfréquence par la communauté scientifique internationale et par les communautés d'utilisateurs.

### A. Disponibilité et accessibilité des données

12. À la suite des discussions approfondies en groupe de travail, les participants ont noté que diverses sources de données pouvaient être fournies par la technologie actuelle. Ils ont toutefois fait observer que le problème de la disponibilité et de l'accessibilité des données pouvait être un obstacle à l'utilisation de la télédétection hyperfréquence dans les pays en développement. Il a en particulier insisté sur les problèmes ci-après liées à l'acquisition des données :

a) Catalogue de produits : absence d'information sur les données disponibles; complexité de l'accessibilité des données;

b) Délai de traitement et de livraison : absence de normes connues en ce qui concerne les livraisons; dans de nombreux cas, les besoins en données en temps quasi réel ne sont pas satisfaits; enfin, absence de normalisation dans l'appellation des niveaux de traitement des produits;

c) Demandes de programmation pour l'acquisition de données : conflits dans le traitement des demandes de programmation, en particulier en cas d'urgence;

d) Présentation des données : les données sont parfois difficiles à déchiffrer.

13. En se fondant sur les débats du groupe de travail, l'Atelier a fait un certain nombre de recommandations en vue d'informer les fournisseurs de données des principaux besoins des utilisateurs. Ces recommandations peuvent être résumées comme suit :

a) Les agents d'exploitation des stations de réception au sol devraient fournir des informations sur les données reçues dans les vingt-quatre heures suivant leur réception, au moyen d'un système de consultation rapide du catalogue sur Internet;

b) Les agents d'exploitation des stations de réception au sol devraient livrer des données de haute qualité en visualisation rapide ou des éléments de scènes dans les trois heures suivant la réception, en vue de leur transmission par l'intermédiaire des réseaux publics;

c) Les agents d'exploitation des satellite d'observation de la Terre devraient établir une base de données centralisée sur catalogue mondial et mettre gratuitement à la disposition de tous les utilisateurs des données de métasignalisation et des données de visualisation rapide. Le Conseil des satellites de télédétection (CEOS) devrait encourager l'élaboration d'un catalogue de références sur la disponibilité des données à l'intention de tous les agents d'exploitation des satellites d'observation de la Terre;

d) Les agents d'exploitation des stations de réception au sol devraient s'engager à respecter les délais de livraison ci-après :

- i) Service normal - dix jours;
- ii) Service d'urgence - quarante-huit heures;
- iii) Service en temps quasi réel - trois heures;

- e) Les agents d'exploitation des stations de réception au sol devraient normaliser l'appellation et la spécification des données;
- f) En cas d'urgence, les pays de la région de l'Asie du Sud-Est devraient convenir de diffuser les données provenant de l'empreinte de faisceaux d'antenne de leurs stations de réception au sol opérationnelles;
- g) En cas d'urgence, les agents d'exploitation de ces stations devraient donner la priorité de programmation aux utilisateurs qui s'occuperaient de catastrophes ayant des incidences sur l'environnement et la société;
- h) Les agents d'exploitation des satellites d'observation de la Terre devraient coordonner les demandes de programmation en conflit, en particulier dans les cas d'urgence, et le Conseil des satellites de télédétection (CEOS) devrait donner des directives concernant l'établissement de priorités pour les demandes de programmation;
- i) Les agents d'exploitation des stations de réception au sol devraient fournir aux utilisateurs un logiciel capable de lire des données provenant de diverses plate-formes. Ce produit numérique devrait contenir :
  - i) Un fichier de description en code ASCII pour toute information concernant les données;
  - ii) Des fichiers contenant des codes de source pour lire l'en-tête pour les diverses plate-formes (UNIX, VMS, PC, etc.);
  - iii) Un fichier d'en-tête;
  - iv) Un fichier de données.

14. Les participants ont également insisté pour que le CEOS joue un rôle primordial dans la coordination et la synchronisation des activités de tous les agents d'exploitation de satellites d'observation de la Terre afin de faciliter au maximum la disponibilité de données provenant de la télédétection hyperfréquence.

#### B. Applications pratiques des données radar

15. Les participants ont choisi trois grands domaines d'application présentant un intérêt et une importance particuliers pour les pays en développement de la région de l'Asie et du Pacifique :

- a) Cartographie des risques (naturels et provoqués par l'homme), notamment : risques volcaniques et sismiques; tremblements de terre; tsunamis; surveillance des déversements d'hydrocarbures; vulnérabilité aux inondations, évaluation et surveillance; enfin, gestion des catastrophes;
- b) Cartographie de base, notamment : photogrammétrie/cartographie topographique; établissements de profils de terrain en vue de la création de systèmes de communication; cartographie de la structure géologique; enfin, cartographie bathymétrique;
- c) Agriculture et foresterie, notamment : inventaire et surveillance des forêts (en particulier, cartographie des forêts anciennes et des forêts dans les régions de collines); identification et contrôle des cultures; prévisions concernant les récoltes; pertinence du choix des cultures; classification des sols (en particulier, mesure de l'humidité et du degré de convenance du sol); couverture de mangrove; couverture du sol;
- d) Météorologie marine, notamment : cartographie de la température à la surface de la mer; cartographie des déchets dans l'océan; gestion des côtes (en particulier, évaluation de l'érosion des coraux); évaluation de la hauteur des vagues; prévisions concernant l'état de la mer sur les itinéraires de navigation; pêcheries (en particulier, cartographie des habitats côtiers et localisation des zones de pêche); marées et courants (rythmes, mesures et observations); enfin, vitesse du vent;
- e) Surveillance de l'environnement, notamment : surveillance de la pollution de l'air/de l'eau; élaboration d'études d'impact sur l'environnement; études épidémiologiques (zones de reproduction d'insectes porteurs de maladies); enfin, surveillance de l'environnement de l'industrie extractive en ce qui concerne les certificats d'autorisation du point de vue de l'environnement;
- f) Inventaire et planification des ressources, notamment : modifications côtières liées à l'urbanisation; études des risques géologiques pour la planification des villes; recherche des nappes phréatiques; études sur les structures géologiques/la minéralisation (construction de modèles); études de l'utilisation des sols; analyse des mesures de remise en état pour les régions touchées par des catastrophes; choix de zones de décharge; enfin, analyse de terrain pour les applications concernant la propagation de la radio.

16. Les participants ont estimé que la technologie de la télédétection hyperfréquence avait atteint un niveau qui lui permettait d'apporter une contribution importante aux activités économiques vitales. À l'exception des applications météorologiques, toutefois, les autres applications devaient encore faire l'objet d'une quantité considérable de recherches et d'appuis, notamment au moyen de l'établissement de modèles, en vue d'améliorer l'interprétation des données.

17. Comme la technologie de la télédétection fait appel à des rayonnements allant des ultraviolets jusqu'aux hyperfréquences, les avantages possibles d'un usage complémentaire approprié de toutes les données concernant les longueurs d'ondes et les techniques d'acquisition des données ont été soulignés.

18. Les participants ont noté que la fréquence d'observation requise pour la plupart des paramètres dépassait nettement celle que l'on pouvait obtenir à partir d'une plate-forme unique. Ils ont reconnu que la mise au point des systèmes de plate-formes multiples nécessaires ne seraient pas réalisables par une seule agence. Toutefois, étant donné le nombre de systèmes proposés pour la décennie à venir, la coopération et la coordination entre les agences fournissant les données et les installations de réception au sol pourrait en fait permettre d'assurer les observations nécessaires avec une répétitivité suffisante. Le groupe de travail a noté que ce sujet était inscrit à l'ordre du jour du Conseil des satellites de télédétection (CEOS).

19. Il a également été noté que la fourniture des données devait être considérablement améliorée par rapport à la situation actuelle. C'était en particulier le cas pour les applications exigeant une réaction rapide à une situation donnée. Les participants ont également noté qu'il y avait un besoin réel de mise au point de méthodes fiables pour l'analyse des données.

20. Les membres du groupe de travail ont fait savoir que la majorité des utilisateurs des pays en développement éprouvaient des difficultés pour acquérir et améliorer le matériel et le logiciel nécessaires pour le traitement et l'analyse des données. L'appui financier et technique pour la mise en oeuvre des applications était également insuffisant.

21. Les participants ont noté que les utilisateurs des pays en développement n'avaient ni les connaissances, ni la formation nécessaires pour utiliser pleinement les données de la télédétection hyperfréquence et pour intégrer les informations qui auraient pu ainsi être obtenues dans les processus de prise de décisions aux niveaux régional, national et local.

22. Ayant cette considération à l'esprit, le groupe de travail a fait un certain nombre de recommandations qui peuvent être résumées comme suit :

a) Les utilisateurs actuels et potentiels des applications de la télédétection hyperfréquence devraient recevoir une formation complémentaire pour leur permettre de tirer pleinement parti de cette technologie et d'utiliser les données obtenues. Cela leur permettrait aussi de réaliser avec succès des projets de démonstration qui pourraient conduire à la décision de développer l'utilisation de ces données pour répondre aux besoins nationaux et régionaux;

b) Le Centre régional de formation aux sciences et techniques spatiales dans la région de l'Asie et du Pacifique devrait faire une plus large place aux programmes d'enseignement et de formation dans le domaine de la télédétection hyperfréquence;

c) Il conviendrait d'encourager une coopération et une collaboration actives de la part des pays de la CESAP dans le domaine de l'échange d'informations pour leur permettre de partager l'expérience acquise en matière d'applications pratiques de données radar ainsi que d'informations sur les propositions de projets, les possibilités de financement et les personnes compétentes disponibles;

d) Pour étendre l'utilisation des données, les fournisseurs devraient instituer un système de prix différenciés adaptés aux besoins particuliers de chaque utilisateur. Il conviendrait d'encourager le partage des données entre les utilisateurs d'un même pays;

e) Il conviendrait d'établir un inventaire des ressources existant dans le monde entier, dans le domaine de la télédétection hyperfréquence, contenant notamment des informations sur les experts, les projets et les organisations s'occupant de leurs questions ainsi que sur leurs activités; cet inventaire devrait être disponible sur Internet.

### C. Éducation et formation requises

23. Le groupe de travail a reconnu que les systèmes d'observation de la Terre à base de radar, tant actuels que futurs, sont très importants pour les pays de la région de l'Asie et du Pacifique. Il faut donc un programme étendu d'éducation et de formation pour que les pays de la région puissent pleinement bénéficier des systèmes de radar à synthèse d'ouverture (SAR) aéroportés et montés sur engin spatial.

24. Les membres du groupe de travail ont examiné un certain nombre de questions essentielles relatives à l'éducation et à la formation : qui faut-il former ? (par exemple des décideurs, des professionnels, des techniciens, des éducateurs); quelle devrait être la nature de la formation ? (par exemple principes, techniques, applications, traitement et interprétation des données et formation à l'utilisation des logiciels); où cet enseignement devrait-il être donné ? (par exemple en entreprise, en cours d'emploi, sur place, au niveau national, au niveau régional ou au niveau international); enfin, comment cette formation devrait-elle être menée ?

25. Les participants ont également examiné les questions relatives au maintien de liens internationaux et régionaux entre les institutions nationales de formation et de recherche ainsi qu'à l'échange international d'informations et de données scientifiques, les transferts de technologie et la disponibilité et le partage des données et du matériel.

26. Après avoir examiné ces questions d'une manière assez approfondie, le groupe de travail a formulé les recommandations ci-après :

a) Il conviendrait d'améliorer la procédure de diffusion des informations sur les possibilités de bourses, de formation et de recherche dans le domaine de la télédétection hyperfréquence. Cette information devrait être disponible en ligne sur Internet;

b) En coopération avec le Centre régional de formation aux sciences et techniques spatiales dans la région de l'Asie et du Pacifique, l'Organisation des Nations Unies devrait établir une étude en vue de déterminer les besoins locaux en matière de formation et de définir des priorités pour la collaboration bilatérale et multinationale dans le domaine de l'éducation, de la recherche et des applications concernant la technologie des hyperfréquences;

c) Il conviendrait d'envisager la possibilité d'introduire de courts stages, ateliers et séminaires dans un programme donné afin de permettre aux participants d'obtenir un certificat ou diplôme en matière de télédétection ou toute autre attestation leur permettant par la suite d'obtenir un diplôme académique officiel;

d) Il faudrait encourager les pays donateurs à accroître les possibilités de bourses, de formation et de recherche destinées aux spécialistes, chercheurs et professionnels des pays en développement;

e) Reconnaisant le rôle important du Centre régional de formation aux sciences techniques et spatiales dans la région de l'Asie et du Pacifique, mis en place en Inde, les participants ont demandé aux pays de la région de signer le plus rapidement possible l'accord prévu avec le Centre et de participer activement à toutes ses activités.

## II. RÉSUMÉ DES EXPOSÉS

### A. Programme d'observation de la Terre de l'Agence spatiale européenne

27. La surveillance de l'environnement de la Terre et la gestion effective de ses ressources naturelles sont des conditions indispensables à un développement durable. Grâce à son Programme d'observation de la Terre, l'Agence spatiale européenne (ESA) travaille dans ce sens en fournissant une gamme de technologies de télédétection et une infrastructure d'appui qu'elle développe en permanence tout en encourageant l'application de ces systèmes par le biais d'activités de formation variées. Parmi les principaux objectifs du Programme d'observation de la Terre de l'ESA, on peut citer :

- a) Surveillance de l'environnement de la Terre à diverses échelles;
- b) Surveillance et gestion des ressources de la Terre;
- c) Poursuite et amélioration des services dans le domaine de la météorologie opérationnelle;
- d) Meilleure compréhension de la dynamique de la Terre;
- e) Satisfaction des besoins de la communauté des utilisateurs.

28. Pour atteindre les objectifs ci-dessus, le Programme d'observation de la Terre comporte un certain nombre d'activités qui vont de la construction et du fonctionnement des satellites et des instruments à l'utilisation des données et à la formation. Ces activités visent à encourager l'adoption des techniques de télédétection pour un grand nombre d'applications, y compris les missions des satellites d'observation de la Terre, les missions du Programme météorologique (METOP) et du deuxième satellite de la série Meteosat (MSG), les missions futures d'observation de la Terre, le Programme de préparation à l'observation de la

Terre, le Programme à l'intention des utilisateurs de données et l'élaboration d'une politique concernant les données d'observation de la Terre.

29. L'activité actuelle la plus visible de l'ESA dans le domaine de l'observation de la terre est sans doute le programme de satellites européens de télédétection (ERS). ERS-1 a été lancé le 17 juillet 1991 et il fonctionne en orbite depuis cette date, fournissant en permanence une gamme étendue de données hyperfréquences de haute qualité sur la Terre et sur son environnement. Un autre satellite quasi identique, ERS-2, a été lancé le 21 avril 1995. Comme ERS-1, il comporte une instrumentation à hyperfréquences active (AMI) qui combine deux instruments, un SAR et un diffusiomètre vent, ainsi qu'un altimètre radar. Les principales modifications concernent l'inclusion d'un élément complètement nouveau dans la charge utile des instruments, l'appareillage de surveillance mondiale de la couche d'ozone, une modification du radiomètre à balayage longitudinal ainsi qu'une amélioration du dispositif de mesure des distances et des variations de distances en vue de déterminer la position orbitale.

30. Le programme ERS devrait se poursuivre pendant l'élaboration du nouveau programme de l'ESA, le satellite de surveillance de l'environnement (ENVISAT), dont le lancement est actuellement prévu en 1998/99. Ce fait est important, car il assurera une continuité de la fourniture des données jusqu'au siècle prochain, ce qui permettra de combler l'écart entre la technologie utilisée aujourd'hui en orbite et celle qui est en cours d'élaboration. Parmi les instruments qui seront à bord d'ENVISAT, on peut citer : un radar de pointe à synthèse d'ouverture; un altimètre radar; un spectromètre imageur de moyenne résolution; un interféromètre de Michelson pour une sonde passive de l'atmosphère; une observation mondiale de l'ozone par occultation des étoiles; un radiomètre de pointe à balayage longitudinal; un spectromètre imageur à absorption à balayage pour la cartographie de l'atmosphère; un balayeur pour l'établissement d'un bilan radiatif; enfin, un système intégré d'orbitographie à effet de Doppler et de positionnement radio par satellite.

31. ENVISAT devrait avoir une durée de vie de cinq ans et devrait permettre d'utiliser des satellites relais en plus des stations au sol pour la liaison descendante de ses données.

32. Les opérations de Meteosat prises en charge par Eumetsat depuis le 1er décembre 1995 entrent maintenant dans une phase transitoire entre le programme opérationnel de Meteosat et le programme MSG. Meteosat 3 et 4 ont été éjectés d'orbite en novembre 1995, ce qui fait que Meteosat 5 continue à remplir seul la mission prévue. Meteosat 6 reste en attente et sera suivi par un satellite de transition au milieu de 1997, avec le premier des satellites MSG dont le lancement est prévu en l'an 2000.

33. METOP-1 est le premier d'une série de trois satellites qui serviront essentiellement à surveiller la météorologie et le climat. METOP-1 devrait être lancé en 2001. Ces missions sur orbite polaire renforceront et, le moment venu, remplaceront les satellites météorologiques actuels de la National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA) des Etats-Unis d'Amérique qui tournent actuellement sur ce que l'on appelle l'orbite du matin.

34. Le secteur spatial et une partie de la charge utile de METOP-1 sont mis au point et fournis par l'ESA, alors que Eumetsat sera chargé de son fonctionnement et de celui des satellites de la même série. Le reste de la charge utile est fourni par la NOAA, Eumetsat et des agences spatiales nationales européennes.

35. Parmi les améliorations des systèmes actuels, on peut citer une meilleure résolution spatiale et spectrale aussi bien dans la portion visible que dans la portion infrarouge du spectre électromagnétique, une production d'images plus fréquente, une analyse de la masse d'air et une diffusion plus rapide des données. Il est également possible d'inclure des modules permettant des opérations scientifiques, de recherche et de sauvetage. Ce programme, qui comprendra trois satellites, permettra de fournir des données bien après l'an 2000.

#### B. Mission d'un satellite de pointe d'observation de la Terre

36. Le satellite de pointe d'observation de la Terre (ALOS) est un satellite japonais d'observation de la Terre à haute définition, utilisé pour la cartographie et pour la surveillance de l'environnement et des risques. Pour satisfaire les besoins actuels des utilisateurs et les besoins à venir pour l'observation régionale, la National Space Development Agency (NASDA) du Japon a décidé d'équiper le satellite de capteurs optiques et hyperfréquences à haute définition. Un radiomètre de pointe de type 2, à haute définition pour balayage dans le visible et le quasi-infrarouge (AVNIR-2) ainsi qu'un radar à synthèse d'ouverture à phase variable de la bande L (PALSAR) ont été choisis comme instruments de la mission d'ALOS, dont le lancement est prévu en 2002.

37. Afin de pouvoir utiliser ces capteurs à haute performance, le système de satellite ALOS sera doté de capacités exceptionnelles, parmi lesquelles la détermination précise de la position et de l'attitude ainsi que la capacité de traiter des volumes importants de données. ALOS sera doté d'un suiveur stellaire qui permettra une détermination exacte de l'orientation ainsi que des récepteurs à poursuite de phase d'un système mondial de positionnement permettant une détermination précise

de la position. Pour traiter le volume important de données produites par AVNIR-2 et PALSAR, ALOS aura une grande capacité de stockage. Les mémoires auront une capacité de stockage de 706 gigabits et une capacité de traitement de 240 mégabits par seconde. Les enregistreurs de données optiques et les enregistreurs à mémoire à l'état solide constituent probablement le matériel le mieux adapté aux mémoires de masse. ALOS aura également une grande capacité de transmission de données grâce aux satellites de relais des données dont le lancement est prévu avant celui d'ALOS. Il sera ainsi possible de recevoir d'ALOS des données en temps réel pour la surveillance des risques.

38. PALSAR est le deuxième radar japonais à synthèse d'ouverture embarquable à bord d'un engin spatial et utilisant une fréquence de la bande L. Cet instrument dispose de trois modes d'observation : haute définition, ScanSAR et mode à faible débit de données. Le mode à haute définition est un radar à synthèse d'ouverture à bande; c'est un mode conventionnel utilisé essentiellement pour les observations régionales détaillées et l'interférométrie par passages répétés. Ce mode permet d'obtenir un pouvoir séparateur de 10 mètres aussi bien dans la direction de parcours que dans les autres azimuts et il balaie une bande d'une largeur de 70 kilomètres. PALSAR disposera aussi d'un mode d'observation intéressant, le mode ScanSAR, qui permettra de prendre des images d'une largeur de plus de 250 kilomètres sans sacrifier le pouvoir séparateur. Cette largeur est environ trois fois plus grande que celle des radars à synthèse d'ouverture utilisés actuellement (par exemple, les images du satellite japonais observant les ressources de la terre (JERS-1/SAR) et devrait être utile pour la détermination de l'étendue des glaces de mer et la surveillance des forêts ombrophiles.

39. Dans le mode à faible débit de données, celles-ci peuvent être transmises directement aux stations au sol utilisant une fréquence de la bande X. Du fait de l'étroitesse de cette bande dans la fréquence de la bande X utilisée pour la liaison descendante, le débit maximum de cette bande est limité à 120 mégabits par seconde. En sacrifiant le pouvoir séparateur dans la direction du parcours, la gamme dynamique et la largeur de la bande de terrain balayé que l'on obtient avec le mode à haute définition, les données observées peuvent être transmises au rythme de 120 ou de 60 mégabits par seconde.

40. Le système PALSAR sera mis au point conjointement par NASDA et l'organisation du système japonais d'observation des ressources (JAROS). NASDA est chargée de l'intégration de PALSAR et de la mise au point du bloc de l'antenne, y compris les panneaux de rayonnement. JAROS est chargée de la mise au point d'un groupe électronique ainsi que des modules de transmission/réception du groupe d'antennes.

### C. Applications des techniques de télédétection par radar aux Philippines

41. Aux Philippines, les données obtenues par la télédétection hyperfréquence sont utilisées par un grand nombre d'institutions et d'organisations officielles ainsi que par des utilisateurs du secteur privé. Les activités concernant la mise au point et les applications de la technologie spatiale sont coordonnées par un organisme regroupant plusieurs institutions et appelé le Comité des applications de la technologie spatiale, relevant du Conseil de coordination de la science et de la technologie. Ce Conseil est un organe de niveau ministériel, présidé par le Directeur du Département de la science et de la technique et il est utile aux organes de direction les plus élevés dans les domaines de la science et de la technique.

#### 1. Projets terminés

42. L'utilisation des données obtenues par satellite radar est née aux Philippines de la nécessité de réaliser un programme de remise en état des régions nord et centre de Luzon qui avaient été gravement touchées par le tremblement de terre de juillet 1990. Cette entreprise était connue sous le nom de Projet de reconstruction après le tremblement de terre. Elle était financée par la Banque internationale pour la reconstruction et le développement ainsi que par la Banque asiatique de développement et réalisé conjointement par NAMRIA, l'Institut philippin de volcanologie et de sismologie et le Département des travaux publics et des voies de transport. On a utilisé des données provenant d'un SAR fourni par une société canadienne (INTERA) en vue d'évaluer les dommages causés par le tremblement de terre et de dresser une carte des zones présentant un risque géologique.

43. Dans un autre projet intitulé "Interpretation of SAR Data and Preparation of Geologic, Seismic Zonation, and Geohazard Maps for Portions of Luzon, Philippines" on a utilisé l'interprétation de photographies aériennes traditionnelles, d'enquêtes géotechniques détaillées et d'un rassemblement d'informations géologiques et géophysiques, le tout étant combiné avec des interprétations des données obtenues par SAR recueillies par INTERA. Le secteur privé a aussi participé à ce projet. Parmi les produits très importants, il faut citer l'élaboration de cartes numériques à partir de données fournies par le SAR et montrant les réseaux fluviaux et les réseaux routiers ainsi que la numérisation des cartes géologiques disponibles pour l'ensemble de Luzon. Des mosaïques de données obtenues par SAR, à l'échelle 1:100 000, ont été élaborées et analysées pour établir des cartes montrant la physiographie, les structures ainsi que les alignements structurels.

44. Ces projets comportaient un élément formation, sous la forme d'une participation active de professionnels locaux à l'examen et à l'analyse des données, à l'établissement de cartes du champ, à la réalisation d'exercices pratiques, à la rédaction de rapports et à la confection de plans de cartes et de cartes des risques. Des séminaires sur des sujets tels que "les techniques

de sismologie" et "l'estimation des caractéristiques des mouvements terrestres lors des tremblements de terre et l'évaluation du potentiel de liquéfaction" ainsi qu'un court stage sur l'interprétation des données obtenues SAR et des déplacements vers certaines zones d'étude.

45. Grâce à un financement de l'Union européenne, un certain nombre de projets utilisant les données obtenues par ERS-1 ont été entrepris en 1994. L'un de ces projets intitulé "Évaluation de la dégradation écologique au mont Pinatubo au moyen de données provenant d'ERS-1 SAR", qui a permis d'établir des cartes du mont Pinatubo et des zones voisines. Ce projet a été réalisé par le Centre de formation de géodésie et de photogrammétrie appliquée de l'Université des Philippines. L'élément formation a été également réalisé en collaboration avec l'Agence spatiale européenne et il comportait un atelier de formation à l'usage des radars auquel ont participé 32 personnes de divers services gouvernementaux et de diverses régions.

## 2. Projets en cours

46. L'Institut philippin de volcanologie et de sismologie a entrepris un projet de trois ans intitulé "Atténuation des risques volcaniques aux Philippines grâce aux données fournies par ERS-1". Quatre volcans actifs, le Pinatubo, le Taai, le Mayon et le Ragang, ont été choisis pour cette enquête et pour l'observation des changements au moyen de la technique de l'interférométrie. Un produit important de ce projet a été l'élaboration de cartes géologiques et de cartes des risques ainsi qu'une meilleure connaissance des techniques d'interférométries. Ce projet est patronné par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture et l'Union internationale des sciences géologiques.

47. À l'heure actuelle, deux institutions réalisent des projets pour lesquels sont utilisées des données provenant de Radarsat. NAMRIA réalise une étude visant à examiner la possibilité d'utiliser des données provenant de Radarsat SAR pour produire des ortho-images. Le but du projet est de produire des ortho-images d'un faible coût au 1:100 000 sur la base de données dotées d'une bonne finesse de résolution (10-20 mètres) en concevant et en mettant au point un modèle approprié d'élévation numérique. Radarsat se contente de fournir les données et le Gouvernement philippin finance les coûts de fonctionnement et le matériel, par l'intermédiaire de NAMRIA.

48. Le Bureau de la gestion des sols et de l'eau réalise un projet intitulé "Évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin central de Luzon au moyen de Radarsat". Le produit du projet sera présenté sous la forme de cartes mensuelles de la situation des inondations (au 1:250 000) pour 1996 et 1997, montrant la durée des inondations, leur hauteur et leur étendue.

### D. Surveillance des rizières en Thaïlande au moyen de données obtenues par radar à synthèse d'ouverture du satellite européen de télédétection

49. L'objectif de l'étude était d'évaluer les capacités des données ERS-1 SAR pour la surveillance des rizières et de la croissance du riz. La zone étudiée représentait environ 100 kilomètres carrés dans le district de Tha Muang, la province Kanchanaburi, dans la partie ouest de la Thaïlande. La rizière était irriguée, plate, gérée de manière homogène et était composée de grands champs individuels, d'un hectare chacun au moins.

50. Les données multitemporelles ERS-1 SAR étaient disponibles pour 12 dates d'acquisition, entre novembre 1991 et décembre 1994. L'analyse des données ERS-1 SAR a été confirmée par des photos aériennes et une image panchromatique SPOT.

51. Dans la zone d'étude, 10 surfaces échantillon d'environ 10 hectares chacune ont été choisies pour des études détaillées des champs de riz en diffusion inverse. De nombreuses mesures de terrain ont été faites en même temps que l'acquisition des données ERS-1 au cours de la période principale de croissance des plantes, d'août à décembre 1993. La hauteur des plantes, leur teneur en humidité et leur densité, le nombre et la taille des feuilles, le poids net de la tige et la hauteur de l'eau ont été mesurés en même temps que des observations plus générales étaient faites sur l'état de la surface de l'eau et du sol ainsi que des plantes et des conditions climatiques au moment de la prise en charge.

52. Le Système mondial de localisation (GPS) a été utilisé pour localiser et enregistrer les limites des sites de l'essai et calculer la surface de chacun de ces sites. Les données ERS-1 étaient corrigées géométriquement à l'aide d'une carte topographique à l'échelle 1:50 000. Les limites de tous les sites de l'essai observés ont été numérisés et surimposés sur les données corrigées géométriquement et filtrées. Les résultats de l'étude peuvent être résumés comme suit :

a) Les données multitemporelles ERS-1 SAR sont parfaitement adaptées aux levés des rizières. L'exactitude obtenue a été de 89 % pour les rizières, à l'exclusion de toute autre couverture;

b) Trois images au moins devraient être obtenues au cours du cycle de croissance. Les dates d'acquisition optimales sont celles de la phase végétative inondée, de la fin de la phase de reproduction et de la phase précédant immédiatement la

récolte. Une image complémentaire après la récolte serait utile pour mieux différencier les champs par rapport aux autres catégories de couverture des zones voisines;

c) Il suffit d'utiliser un classificateur standard à base de pixels donnant le maximum de ressemblance, mais des méthodes plus élaborées permettraient d'obtenir de meilleurs résultats. Il est indispensable de supprimer le piquetage des données d'entrée;

d) Les données multitemporelles ERS-1 SAR sont parfaitement adaptées à la surveillance des rizières;

e) Le coefficient de diffusion inverse du radar est bien adapté à la hauteur de la plante de riz; l'utilisation de données radar permet donc de déterminer le stade approximatif de croissance de la plante;

f) Le signal radar montre une corrélation possible avec le rendement en riz. Cette relation peut cependant être indirecte si l'on tient compte du fait que la rétrodiffusion du radar est plus sensible à des paramètres tels que la biomasse, l'humidité et la géométrie des plants de riz qu'au rendement du grain lui-même;

g) Si l'on veut mettre au point un système opérationnel de surveillance du riz, il est fortement recommandé d'utiliser des données radar multitemporelles comme sources de données de départ.

#### E. Utilisation du radar à synthèse d'ouverture du satellite européen de télédétection pour la surveillance de l'utilisation des sols et des zones côtières en Indonésie

53. L'Indonésie est un archipel qui compte environ 17 000 îles et où les côtes mesurent plus de 81 000 kilomètres. La zone côtière est un espace de peuplement important, avec une activité économique et sociale intense vitale pour le pays. La planification et la gestion de l'utilisation des sols et des ressources côtières devraient être fondées sur une bonne compréhension et une bonne connaissance des processus physiques et biologiques en cause. Les données obtenues par télédétection pourraient constituer une source d'informations importante à cette fin. Dans la télédétection optique, cependant, la couverture nuageuse est une gêne considérable. La télédétection hyperfréquence permet de pénétrer à travers la couverture nuageuse et de surveiller l'utilisation des sols et des zones côtières, quel que soit le temps.

54. L'objectif principal du projet était d'étudier le potentiel des données ERS-1 SAR en vue d'obtenir des informations qui pourraient être utiles pour la gestion des terres et de la zone côtière. Le projet avait notamment les objectifs ci-après :

a) Sur la terre, évaluer le potentiel des systèmes ERS-1 SAR pour l'établissement de cartes des zones contenant des étangs poissonneux, des ports, des infrastructures côtières, des établissements, des rizières et d'autres catégories d'utilisation du sol ainsi que pour la gestion des zones côtières;

b) Sur la mer, déterminer le potentiel du système ERS-1 pour détecter les déversements d'hydrocarbures, étudier les vagues et les phénomènes se produisant sous l'eau ainsi que tout objet fabriqué par l'homme et se trouvant dans la mer;

c) Comparer la teneur en informations des données ERS-1 SAR avec celles d'autres systèmes de télédétection;

d) Intégrer les informations tirées d'ERS-1 dans des modèles de gestion des zones côtières.

55. La zone étudiée était située le long de la côte nord du centre de Java. Trois séries de données ERS-1 SAR acquises le 23 janvier, le 16 février et le 6 mars 1994, étaient disponibles. L'analyse des données multitemporelles était complétée par des observations sur le terrain et les cartes existantes. Les images ERS-1 SAR ont été soumises à une analyse visuelle et numérique.

56. On peut résumer comme suit les résultats de l'étude :

a) Les images multitemporelles ERS-1 SAR sont très utiles pour la gestion des sols et des zones côtières, notamment grâce à la surveillance des changements dans la couverture des zones côtières et de la côte à marée haute et à marée basse et à la possibilité de détection des déversements d'hydrocarbures;

b) Pour améliorer l'interprétation et la classification des données, en ce qui concerne surtout la surveillance de l'utilisation des sols, il est recommandé d'utiliser des images multisources complémentaires (ERS-1 SAR, cartes thématiques Landsat et SPOT), ainsi que d'appliquer des techniques de fusion des données provenant de divers capteurs.

## F. Projet Communauté européenne/Agence spatiale européenne/Association des nations de l'Asie du Sud-Est

57. En novembre 1992, la Communauté européenne, en collaboration avec l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ANASE) et avec l'appui technique de l'Agence spatiale européenne, s'est lancée dans un projet ambitieux visant à améliorer la qualité des installations de télédétection dans l'Asie du Sud-Est afin d'aider les pays en développement de la région à mettre au point des programmes de télédétection hyperfréquence et des applications des données ERS-1 et NOAA-AVHRR (radiomètre à très haut pouvoir séparateur). Ce résultat devait être obtenu par l'amélioration du matériel et du logiciel utilisés pour l'acquisition, le traitement et l'archivage des données ERS-1 et AVHRR et, pour ce qui est de l'ERS-1, par la réalisation d'un programme de projet pilote et de formation d'une durée de deux ans et demi. Le projet comporte trois éléments : deux accords bilatéraux (avec la Thaïlande et la Malaisie) visant à fournir les ressources nécessaires en matériel et en logiciel pour ce projet de télédétection au sein de l'ANASE; enfin, un élément régional concernant le projet pilote et le programme de formation.

58. La Communauté européenne a accordé au projet une subvention de 3,9 millions d'ECU et l'ESA a apporté une contribution supplémentaire d'une valeur de 1,52 million d'ECU sous forme de données et de matériel de formation.

59. En Thaïlande, la modernisation des installations d'acquisition de données ERS-1 a été terminée et les opérations ont commencé au début de mars 1993. Depuis lors, environ 145 bandes magnétiques haute densité ont été acquises, chacune d'elles contenant des données sur une moyenne de trois à quatre passages de satellites. Outre le processeur de précision capable de fournir divers produits ERS-1, on a incorporé dans la chaîne de traitement la première installation opérationnelle d'un processeur de visualisation rapide permettant de traiter les passages de satellites les plus longs sous forme d'images en moins de temps qu'il n'est nécessaire pour obtenir un seul produit de précision. Les épreuves minute obtenues de cette façon permettent une visualisation utile dans le catalogue qui fait aussi partie du système général.

60. En Malaisie, les installations d'acquisition de données AVHRR du système météorologique malaisien ont été agrandies pour inclure une capacité de traitement de produits de niveau élevé en utilisant des logiciels mis au point par l'ESA. Ont également été installés des systèmes UIT (Universal Interface Terminal) et des systèmes S-GOS (SAR geocoding systems).

61. Huit projets pilotes ont été choisis parmi un grand nombre de propositions soumises et distribuées entre les quatre pays participant au projet (Indonésie, Malaisie, Philippines et Thaïlande). Ces projets pilotes doivent résoudre les problèmes relatifs aux applications particulièrement importantes pour les pays de la région.

62. Ces projets pilotes étaient les suivants :

- a) INDO-1 : évaluation et surveillance de l'utilisation des sols grâce à des données ERS-1 SAR;
- b) INDO-2 : application des données ERS-1 SAR à la gestion des zones côtières;
- c) MAL-1 : nature complémentaire des données SAR et des données optiques pour la cartographie de l'utilisation des sols;
- d) MAL-2 : informations sur les zones côtières fournies par les satellites ERS-1 SAR;
- e) PHIL-1 : application des données ERS-1 SAR à l'évaluation de la dégradation de l'environnement dans la région du mont Pinatubo;
- f) PHIL-2 : application des données ERS-1 SAR à l'évaluation des risques d'inondations dans le milieu fluvial et côtier;
- g) THAI-1 : surveillance des rizières en Thaïlande grâce à des données ERS-1;
- h) THAI-1 : application des données ERS-1 SAR pour des études du milieu côtier dans le district de Khlung, en Thaïlande.

63. Pour appuyer ces projets pilotes, le projet prévoit également la possibilité de donner une formation appropriée au personnel intéressé. Les programmes de formation contribuent également à faciliter la diffusion des informations sur les capacités des techniques relativement nouvelles de télédétection hyperfréquence dans les pays participants. Le plus important était de sensibiliser les dirigeants responsables aux avantages que l'on peut retirer de l'utilisation des techniques de télédétection, en particulier hyperfréquence, dans le processus de prise de décisions. Pour cette raison, le projet Communauté européenne/ESA/ANASE a structuré son programme de formation en plusieurs niveaux, destinés chacun à un public différent :

a) Séminaires pour décideurs : ce sont des séminaires d'une journée, destinés à donner à des décideurs et à des dirigeants un aperçu des domaines où l'on peut appliquer les données hyperfréquence avec profit. Chaque pays participant accueille l'un de ces séminaires;

b) Ateliers de formation régionaux : ces ateliers durent deux semaines chacun et familiarisent 24 chercheurs avec les principes et les pratiques de la télédétection hyperfréquence. Chaque séminaire porte sur un domaine d'application différent.

64. Des dispositions ont en outre été prises pour que deux chercheurs de chaque projet passent jusqu'à trois semaines en Europe dans les locaux de l'Institut européen de recherche spatiale (ESRIN), pour leur permettre de traiter des questions importantes concernant le programme ERS, ainsi que dans les instituts partenaires de leurs projets respectifs, pour travailler sur des données relatives au projet pilote, en utilisant un matériel, un logiciel et des connaissances spécialisés qui ne seraient pas facilement disponibles dans les pays de l'ANASE.

65. En novembre 1995, le Conseil consultatif du projet a tenu une réunion en vue d'évaluer le projet et d'examiner les tendances futures de la coopération entre la Communauté européenne/ESA et l'ANASE. Les participants ont estimé que la plupart des projets pilotes avaient été couronnés de succès et que les autres activités avaient été menées à bien comme prévu. Les participants ont également examiné les problèmes apparus au cours de la réalisation des projets pilotes.

#### G. Distribution d'images par SPOT Image

66. SPOT Image est un membre du consortium ERS et il est le distributeur de données ERS pour ses utilisateurs en France et dans le monde (à l'exception de l'Europe et de l'Amérique du Nord). Une filiale de SPOT Image, SPOT Asia, est implantée à Singapour et elle répond aux demandes de renseignements concernant SPOT et ERS provenant des clients de l'Asie du Sud-Est.

67. Afin de comprendre les besoins des utilisateurs et de fournir de meilleurs services techniques aux clients, SPOT Image a entrepris un certain nombre de projets sur l'application des données ERS SAR. L'une de ces activités concernant l'analyse des applications des données ERS SAR en vue de déterminer celles qui présentaient le plus d'intérêt pour les utilisateurs régionaux. En collaboration avec ESA/ESRIN, SPOT Image se livre actuellement à une évaluation approfondie de la complémentarité des données SPOT-ERS dans le projet pilote Communauté européenne/ESA/ANASE dans les régions tropicales et équatoriales, en particulier pour les applications concernant la cartographie, l'interférométrie et l'agriculture.

68. SPOT Image a également acquis de l'expérience dans l'utilisation des données hyperfréquence pour l'établissement de cartes sur la base de données SAR ainsi que dans la surveillance des inondations en utilisation des images SPOT et SAR, et dans le géocodage des données SPOT et ERS SAR ainsi que dans le domaine des modèles interférométriques d'élévation numérique.

69. L'utilisation combinée des images SPOT et SAR ouvre la porte à des nombreuses possibilités dans le domaine de l'information géographique. La complémentarité des données est due à la nature des informations fournies par chaque capteur ainsi qu'à la possibilité d'obtenir des informations concernant des régions nuageuses. Les produits de données provenant de sources multiples peuvent fournir aux utilisateurs des informations plus exactes et plus fiables concernant l'agriculture et l'identification des zones de culture, la surveillance de la déforestation, l'exploration pétrolière et minérale et l'interprétation géologique, la surveillance des inondations et la production de modèles d'élévation numérique, ainsi que des solutions plus complètes pour la production d'informations géographiques à jour.