| BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET | 1. CONTROL NUMBER PN-AAH-468 | 2. SUBJECT CLASSIFICATION (695) TC00-0000-0000 |
|---|---|---|

3. TITLE AND SUBTITLE (240)

L'espace et les ressources terrestres: perspectives de la teledetection pour les pays en voie de developpement

4. PERSONAL AUTHORS (100)

5. CORPORATE AUTHORS (101)

National Research Council. Board on Science and Technology for Int. Development

| 6. DOCUMENT DATE (110) | 7. NUMBER OF PAGES (120) | 8. ARC NUMBER (170) |
|---|---|---|
| 1980 | 233p. | 621.3885.N277a |

9. REFERENCE ORGANIZATION (130)

NAS

10. SUPPLEMENTARY NOTES (500)

(In French and English. English, 208p.: PN-AAD-644)

11. ABSTRACT (950)

12. DESCRIPTORS (920)

Remote sensing
ERTS
Landsat
Satellite technology
Communication satellites
Natural resources
Spaceborne photography
Developing countries

13. PROJECT NUMBER (150)

931122300

14. CONTRACT NO.(140)

AID/ta-C-1433

15. CONTRACT TYPE (140)

16. TYPE OF DOCUMENT (160)

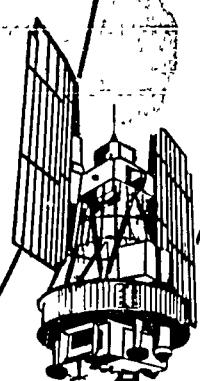
AID 590-7 (10-79)

621.3885
N277a

PN-AAH-468

# L'espace et les Ressources Terrestres :

## PERSPECTIVES DE LA TELEDETECTION POUR LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

# L'ESPACE ET LES RESSOURCES TERRESTRES :

# Perspectives de la télédétection pour les pays en voie de développement

Rapport du Comité ad hoc sur la télédétection pour le développement
Conseil de la science et de la technologie
pour le développement international (BOSTID)
Commission des relations internationales
Conseil national de la recherche

National Academy of Sciences
Washington, D.C. 1977

**Version française publiée avril 1980**

Le présent rapport, publié pour la première fois en avril 1977, a été rédigé par le Comité ad hoc sur la télédétection pour le développement, réuni par le Conseil de la science et de la technologie pour le développement international, Commission des relations internationales, avec l'appui du Comité sur les programmes de télédétection pour l'étude des ressources terrestres, Commission des ressources naturelles, Conseil national de la recherche. Il a été préparé pour le compte de l'Office de la science et de la technologie, Bureau de l'assistance technique, Agence pour le développement international, Washington, D.C., aux termes du contrat AID/csd-2584, Task Order n° 1. La version française a été établie par Jean-Louis Boucher, traducteur technique, Paris. La traduction et la publication du rapport en français ont été financées par l'Office de la science et de la technologie, Bureau pour le soutien du développement, Agence pour le développement international, en vertu du contrat AID/ta-c-1433.

NOTE : Le projet examiné dans le présent rapport a été approuvé par le Conseil d'administration du Conseil national de la recherche, dont les membres appartiennent aux conseils de l'Académie nationale des sciences, de l'Académie de l'Ingénierie et de l'Institut de médecine. Les membres du Comité chargés de la rédaction ont été choisis de manière à ce que leurs compétences particulières donnent au texte l'équilibre qui lui est nécessaire.

Le présent rapport a été examiné par un groupe de personnes dont les auteurs ne faisaient pas partie, selon des dispositions approuvées par un Comité d'examen des rapports, composé lui-même de membres de l'Académie nationale des sciences, de l'Académie de l'ingénierie et de l'Institut de médecine.

## Comité sur la télédétection pour le développement

HARLAN CLEVELAND, Director, Program in International Affairs, Aspen Institute for Humanistic Studies, Princeton, New Jersey (*Chairman*)

IRMA ADELMAN, Professor of Economics, University of Maryland, College Park, Maryland

MANUEL S. ALBA, Deputy Director, National Economic and Development Authority, Manila, Philippines

MARION F. BAUMGARDNER, Professor of Agronomy and Program Leader, Earth Sciences Research Programs, Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, West Lafayette, Indiana

MILTON M. BEILOCK, Space Division, Rockwell International, Downey, California

LEONARD BERRY, Professor of Geography and Dean of the Graduate School, Clark University, Worcester, Massachusetts

CARLOS E. BROCKMANN, Director, Earth Resources Technology Satellite Program, Geological Service of Bolivia, La Paz, Bolivia

WILLIAM M. CAPRON, Associate Dean and Senior Lecturer on Political Economy, John F. Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, Massachusetts

JOSEPH V. CHARYK, President, Communications Satellite Corporation, Washington, D.C.

ABRAM CHAYES, Professor of Law, Harvard Law School, Cambridge, Massachusetts

VEN TE CHOW, Professor of Hydrological Engineering, University of Illinois, Urbana, Illinois

ROBERT N. COLWELL, Professor of Forestry and Associate Director, Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley, California

WOLFRAM U. DREWES, Senior Resource Planner, World Bank, Washington, D.C.

HAROLD L. JAMES, U.S. Geological Survey (Ret.), Port Townsend, Washington

JOSE LIZARRAGA REYES, Director General, National Office for Resource Evaluation (ONERN), Lima, Peru

BAYLESS A. MANNING, President, Council on Foreign Relations, New York, New York

WALSH McDERMOTT, The Robert Wood Johnson Foundation, Princeton, New Jersey

P. D. McTAGGART-COWAN, Executive Director, Science Council of Canada (Ret.), Ontario, Canada

FERNANDO DE MENDONÇA, National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Brasilia, Brazil; former Director General, Space Research Institute

EVELYN L. PRUITT, Office of Naval Research (Ret.), Arlington, Virginia

GEORGE W. RATHJENS, Professor of Political Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

E. M. EL SHAZLY, Director, Geology Group, Remote Sensing Research Project, Academy of Scientific Research and Technology, Cairo, Egypt

DAVID S. SIMONETT, Professor of Geography, University of California, Santa Barbara, California

JULIEN ENGEL, Deputy Director and Head, Special Studies, Board on Science and Technology for International Development, Commission on International Relations, National Academy of Sciences-National Research Council (*Staff Study Director*)

# Sommaire


| | | |
|---|---|---|
| Introduction | | 1 |
| Avant-propos, par Harlan Cleveland, Président | | 5 |
| I. | Résumé et recommandations | 14 |
| II. | L'information sur les ressources dans les pays en voie de développement | 27 |
| III. | Technologie de la télédétection spatiale | 41 |
| IV. | L'expérience des LANDSAT 1 et 2 | 68 |
| V. | Perspectives technologiques | 106 |
| VI. | L'utilisation de la télédétection dans les pays en voie de développement | 130 |
| VII. | Problèmes internationaux–Perspectives | 161 |
| VIII. | Proposition de programme d'assistance en télédétection | 193 |
| Deux avis divergents | | 209 |
| Glossaire des sigles | | 217 |
| Eléments de bibliographie | | 219 |

# Introduction

Au milieu de l'année 1974, l'Office de la science et de la technologie de l'Agence pour le développement international (AID) demandait au Conseil de la science et de la technologie pour le développement international (BOSTID)* d'étudier l'intérêt potentiel de la technologie nouvelle qu'est la télédétection spatiale pour les pays en voie de développement et, en cas de réponse positive, de proposer les mesures qui pourraient être prises par le biais de la coopération technique pour promouvoir son transfert et sa diffusion à l'étranger.

En termes plus précis formulés par la suite, l'AID demandait une évaluation des mérites et de l'efficacité de cette technologie, et en particulier d'établir (1) si elle est à même de répondre aux besoins d'information des pays en voie de développement en ce qui concerne l'étude de leurs ressources et la surveillance de leur environnement, et (2) si elle peut être un instrument utile dans des applications correspondant aux objectifs de développement de ces pays. De plus, l'étude devait examiner les grandes lignes et les incidences probables des systèmes améliorés de télédétection qui pourraient voir le jour d'ici à une dizaine d'années, les impératifs institutionnels qu'impliquerait l'utilisation de cette technologie par les pays en voie de développement, et les diverses questions que soulèveraient sa diffusion et son acceptation.

Cette demande a été formulée dans le contexte d'un programme permanent d'études consultatives que le BOSTID exécute, avec le soutien de l'AID, sur les progrès des sciences et des technologies présentant de l'importance pour l'effort de développement. Dans l'ensemble, ces études sont destinées à un large public qui va des responsables et spécialistes de l'AID et d'autres agences bilatérales et multilatérales de coopération technique, aux dirigeants, administrateurs et spécialistes des pays en voie de développement, qui doivent étudier dans quelle mesure des technologies peu familières s'appliquent à leurs problèmes de développement.

L'intérêt pour la télédétection spatiale a été grandement accru par le lancement, en juillet 1972, du premier satellite technologique d'étude des

*Le BOSTID est un organe de la Commission des relations internationales du Conseil national de la recherche, qui travaille sous l'égide de l'Académie des sciences, de l'Académie d'ingénierie et de l'Institut de médecine.

ressources terrestres (ERTS 1, rebaptisé par la suite LANDSAT 1), et par la diversité des études sur l'utilité des données de LANDSAT pour différentes applications terrestres qui ont été menées par la suite. En fait, plusieurs grands programmes d'évaluation technique des performances de LANDSAT étaient en cours aux Etats-Unis au moment où la présente étude a été proposée. L'un d'entre eux a été entrepris par le Comité sur les programmes de télédétection pour l'étude des ressources terrestres (CORSPERS)*, que le BOSTID a invité à participer à l'étude proposée en la supervisant.

Les travaux du Comité ont été ajournés pendant un an : ces études pouvaient ainsi être menées à bien et l'on disposait de temps supplémentaire pour accumuler de l'expérience sur l'utilisation des données de LANDSAT, en particulier dans les pays en voie de développement commençant à en faire usage. Le Comité sur la télédétection pour le développement a été convoqué une première fois en mai 1975 et s'est réuni à nouveau en janvier 1976. Ses membres ont formé des groupes de travail qui se sont réunis de façon officieuse à d'autres moments pour étudier, avec l'assistance d'experts extérieurs, des questions spécifiques. Le Comité était composé de 24 membres, dont 6 provenaient de six pays appartenant tous, sauf un, au monde en voie de développement. Ils ont fait bénéficier le Comité d'une expérience étendue, allant des aspects purement techniques de la télédétection aux problèmes de politique étrangère et d'organisation sur le plan international en passant par les disciplines et les secteurs où cette technologie trouve ses applications tant aux Etats-Unis qu'à l'étranger.

Il n'est pas inutile que le Comité expose les prémisses qui lui ont servi de point de départ et les limites qu'il s'est fixées pour venir à bout de sa tâche.

Premièrement, le Comité a retenu comme définition de la télédétection la collecte par satellite de données concernant la surface de la Terre. Il a pris note, le cas échéant, de l'importance que revêtent toujours l'observation aérienne et l'observation au sol, mais a mis l'accent sur les avantages et les nouvelles possibilités qu'offre la détection multibande d'une plate-forme spatiale.

Deuxièmement, le Comité a pris comme point de départ le système LANDSAT actuel, fait acquis dont le coût a déjà été justifié par des intérêts nationaux des Etats-Unis et qui, comme toute technique novatrice, devrait connaître selon toute probabilité de nouveaux développements et des perfectionnements plus poussés.

Troisièmement, en faisant le rapprochement entre cette technologie et les besoins des pays en voie de développement en informations sur leurs ressources, le Comité a porté toute son attention sur les aspects qui, dans l'ensemble, ont un dénominateur commun. Il n'a pas tenté de donner une

*Organe de la Commission sur les ressources naturelles du Conseil national de la recherche.

réponse à la question plus vaste et plus complexe des habitudes et des moyens des pays en voie de développement en ce qui concerne la gestion des ressources ; car, pour la centaine de pays qui constituent le monde en voie de développement, ces derniers couvrent un spectre si étendu qu'il défie tout effort de nomenclature et de généralisation.

Quatrièmement, le Comité a examiné plusieurs questions financières, mais s'est abstenu de toute évaluation quantifiée de la technologie et de ses applications. L'analyse des coûts et des avantages est un art aléatoire ; ses résultats voyagent mal. Les chiffres du rapport coût/efficacité peuvent être plus révélateurs mais, en règle générale, ils sont trop étroitement liés au problème spécifique, aux techniques, à l'époque et au lieu particuliers où ils s'appliquent pour être vraiment instructifs. Le calcul des avantages à obtenir ne peut être établi que par chaque pays compte tenu des circonstances locales et de ses desseins particuliers, et en faisant intervenir des gains impondérables dans le domaine de l'enseignement scientifique, de la recherche locale et de la coopération régionale.

Cinquièmement, le Comité a estimé que la question de la télédétection spatiale des ressources terrestres ne pouvait être envisagée sérieusement si on l'isolait des importants problèmes politiques qu'elle soulève et qui peuvent influer notablement sur son avenir.

Cette dernière question—la politique internationale de la télédétection—s'est révélée la partie la plus délicate de la mission du Comité. Il s'est attaché les conseils d'un groupe spécial, formé de membres du Comité et de personnalités extérieures, et composé du Président Harlan Cleveland, de William M. Capron et Abram Chayes de l'Université Harvard, de Richard N. Gardner de l'Université Colombia, de Bayless Manning du Conseil pour les relations étrangères, de George Rathjens et Eugene Skolnikoff de l'Institut de technologie du Massachusetts, avec la collaboration de Julien Engel et Abraham M. Sirkin, du Conseil national de la recherche.

Pour la préparation de ce rapport, le Comité et son secrétariat ont recueilli des informations précieuses auprès de nombreuses personnalités appartenant à des organismes gouvernementaux, à d'autres institutions et à des sociétés privées. Le Comité tient à remercier en particulier pour leurs contributions Charles L. Barnes, NASA ; Seyom Brown, Brookings Institution ; Alden P. Colvocoresses, Service géologique des Etats-Unis ; Jerald J. Cook, Institut de recherche sur l'environnement du Michigan ; Robert E. Durland, Institut de la statistique ; Arnold W. Frutkin, NASA ; Richard N. Gardner, Faculté de droit de l'Université Colombia ; E. J. Greenblat, ECON, Inc. ; Klaus P. Heiss, ECON, Inc. ; David S. Landgrebe, Université Purdue ; Jules Lehman, NASA ; S. Benedict Levin, Earth Satellite Corporation ; Stuart McIntyre, Institut Monterey d'études étrangères ; Wilfred J. Mellors, Agence spatiale européenne ; Richard Moke, NASA ; James R. Morrison, NASA ; Jacques Palgen, Earth Satellite Corporation ; Archibald B. Park, General Electric Company ;

Priscilla Reining, Association américaine pour l'avancement de la science ; Charles J. Robinove, Service géologique des Etats-Unis ; Marvin Robinson, Secrétariat des Nations Unies, Division des affaires de l'espace extra-atmosphérique ; Thomas F. Rogers ; Eugene B. Skolnikoff, Institut de technologie du Massachusetts ; William L. Smith, Institut de recherche sur l'environnement du Michigan ; Martin I. Stoller, Earth Satellite Corporation ; William E. Stoney, Jr., NASA ; Ronald Stowe, Département d'Etat ; Robert A. Summers, ERDA ; Paul G. Teleki, Service géologique des Etats-Unis ; Joseph A. Vitale, NASA ; Richard S. Williams, Jr., Service géologique de Etats-Unis ; James V. Zimmerman, NASA ; et George J. Zissis, Institut de recherche sur l'environnement du Michigan.

Le Comité doit une gratitude particulière à Winfred E. Berg, Secrétaire exécutif du CORSPERS et à Paul Bock et Charles E. Olson, Jr., membres de ce Comité, pour le soin avec lequel ils ont révisé le projet de rapport, ainsi qu'aux agents permanents du Comité des applications spatiales du Conseil national de la recherche : Clotaire Wood, Secrétaire exécutif ; Laurence F. Gilchrist et Alfred Whiting.

Enfin, le Comité ne peut passer sous silence le travail de recherche et de mise en forme du manuscrit accompli par Abraham M. Sirkin, consultant du Comité.

Le rapport a été préparé en langue anglaise et le Comité tient à remercier profondément M. Jean-Louis Boucher, traducteur technique, Paris, pour avoir réalisé la traduction française du texte et Colette Simonds de BOSTID, pour la révision finale avant publication.

# Avant-propos

par HARLAN CLEVELAND, Président
Comité sur la télédétection pour le développement

Le présent rapport contient les conclusions et recommandations d'un Comité constitué par l'Académie nationale des sciences pour envisager dans quelle mesure les satellites de détection des ressources terrestres présents et futurs se prêtent à la planification des ressources dans les pays en voie de développement, et pour suggérer aux Etats-Unis des mesures répondant aux questions que cette nouvelle famille de disciplines techniques pose dans le domaine du développement et des institutions. Ce fut pour moi un privilège et une expérience enrichissante de présider aux activités de ce Comité, qui reflètent des opinions d'experts venus de sept pays différents.

La technologie actuelle se compose de deux satellites en exploitation, baptisés à l'origine ERTS (Earth Resource Technology Satellite = satellite technologique d'étude des ressources terrestres) et rebaptisés LANDSAT 1 et 2, qui parcourent 14 orbites terrestres par jour en produisant des bandes "d'images". Ces images enregistrent l'énergie réfléchie par la surface de la Terre dans les portions visible et infrarouge du spectre électromagnétique et sont transmises à des stations au sol sous forme de données numériques qui peuvent être traitées sur calculateur. Pratiquement n'importe quel point du globe peut être "observé" jusqu'à 40 fois par an, toujours à la même heure du jour (vers 09.30 h). Le produit final peut prendre la forme d'images comparables à des photographies ou de bandes machine représentant des "scènes" de 34 000 km$^2$. Avec la technologie actuelle, il est possible de distinguer dans quatre bandes distinctes du spectre des caractéristiques terrestres dont la dimension ne dépasse pas celle d'un terrain de football (ce que l'on appelle une "résolution" géométrique de 80 m). On attend des systèmes ultérieurs prévus qu'ils aient des résolutions géométriques de 40 ou 30 m et que leurs définitions spectrales soient encore affinées. Des résolutions bien plus précises sont déjà du domaine du possible, mais "un satellite d'étude des ressources terrestres n'a pas besoin de l'acuité visuelle d'un satellite espion. Les utilisateurs seraient littéralement débordés par des données qu'ils ne seraient pas en mesure de traiter".*

*G. Bylinsky, "ERTS puts the Whole Earth Under a Microscope," *Fortune*, 91, p. 116 et suiv. (février 1975).

Le fait que les images de LANDSAT 1 et 2 soient disponibles, et la perspective d'images meilleures (résolution plus fine, couverture plus fréquente, traitement plus rapide, modes d'affichage de l'information plus clairs), fournies par les systèmes ultérieurs, placent chaque pays en voie de développement devant un choix qu'il n'a jamais eu à faire auparavant : soit acheter (ou "lire" avec son propre matériel) les données sur ses propres ressources que ces nouveaux satellites "détectent" et les combiner avec d'autres informations provenant de l'observation par avion et au sol, soit renoncer à ce nouvel accroissement de la puissance de l'information parce qu'il est trop coûteux en termes d'argent et de personnel qualifié, et trop pesant du fait de l'interdépendance qu'une participation active à cette technologie entraîne nécessairement.

Notre rapport s'efforce d'analyser quelles sont les catégories d'avantages pouvant compenser ces coûts. Trois pays (le Canada, le Brésil et l'Italie) possèdent déjà leurs propres stations au sol ; la plupart des autres achètent des images de leur territoire national. Mais l'expérience que les pays en voie de développement ont de l'utilisation de la télédétection comme aide à la gestion de leurs ressources est encore si limitée que la plupart de nos jugements ont dû se fonder sur des témoignages fournis par des applications pratiques aux Etats-Unis. Ces témoignages indiquent l'existence d'une utilité présente ou potentielle d'importance et de qualité variables dans les domaines suivants : la production agricole (estimation des surfaces cultivées et des rendements, étude des sols), la gestion des terrains de parcours, des forêts et des ressources en eaux, les levés géologiques et la gestion des ressources minières, la cartographie et l'estimation des populations, l'aménagement du territoire, la protection de la santé et de l'environnement, la surveillance des ressources maritimes, la prévision des catastrophes naturelles et les mesures de secours à prendre dans ce cas. Au-delà de ces utilisations dans la gestion locale et nationale des ressources terrestres, il paraît probable que les images de la télédétection seront de plus en plus utiles pour la planification plurinationale du développement (grands bassins fluviaux, déserts, forêts et zones maritimes communes) et pour des activités à l'échelle du globe comme la prévision mondiale des récoltes.

Nos recherches nous ont appris qu'il existe encore, même aux Etats-Unis, un fossé appréciable entre les expérimentateurs techniques et les aménageurs des ressources. Dans les pays moins développés, le fossé entre les images fournies par satellite et les informations utilisables par les planificateurs et les gestionnaires est beaucoup plus profond. Et pourtant, certaines applications expérimentales de la télédétection ont été mises à l'épreuve dans des pays en voie de développement et des exemples en sont cités au chapitre IV de notre rapport ; la présence au Comité de membres venant de Bolivie, du Brésil, d'Egypte, du Pérou et des Philippines s'est révélée particulièrement utile en

aidant le Comité à comprendre cette expérience, certes limitée, mais instructive.

Bien entendu, il ne suffisait pas d'analyser ce qui pouvait être fait avec les images que peut fournir la technologie existante. Il nous a fallu prendre en considération, avec l'aide indispensable d'autres organes du Conseil national de la recherche*, les systèmes ultérieurs probables : l'analyseur à balayage multibande du LANDSAT C, dont le lancement est prévu avant la fin de la présente décennie ; le Thematic Mapper, comportant six ou sept bandes spectrales de 30 mètres de résolution, prévu pour le début de la prochaine décennie ; et les possibilitiés offertes par l'utilisation combinée de données provenant d'un certain nombre de satellites et de laboratoires habités qui seront lancés vraisemblablement avant 1990 pour des missions portant sur l'étude des ressources terrestres. L'état actuel des plans pour l'avenir et des suppositions au sujet des technologies futures est résumé au chapitre V du rapport.

Dans les pays moins développés, l'intégration de données provenant de nouvelles sources d'information dans les mécanismes existants d'analyse et de planification est limitée par l'insuffisance de ces mécanismes eux-mêmes. Pénurie de personnel qualifié, manque de familiarité avec la télédétection chez ceux qui distribuent les crédits, gèrent les ressources, dirigent l'enseignement supérieur et orientent les carrières professionelles, tels sont apparemment les principaux obstacles à la matérialisation des avantages de la télédétection pour le développement économique et social. Or, c'est précisément dans le Tiers Monde insuffisamment développé que la télédétection devrait apparemment faire la plus grande différence ; en d'autres termes, l'importance des images synoptiques peut y être effectivement beaucoup plus grande dans certains domaines (notamment l'aménagement du territoire, le diagnostic des problèmes agricoles, la prospection de minerais) que dans les nations qui sont mieux cartographiées et explorées plus à fond. Le chapitre VI étudie les perspectives à court terme et à long terme d'une utilisation efficace des données de la télédétection spatiale par les pays en voie de développement.

Le rôle prédominant des Etats-Unis dans l'expérimentation de cette nouvelle technologie et la part que nous avons prise précédemment à la rédaction du Traité sur l'utilisation pacifique de l'espace extra-atmosphérique (par lequel tous les signataires s'engagent à utiliser l'espace "pour le bien et dans l'intérêt de l'humanité toute entière") nous obligent à aider les peuples dont "nous détectons" quotidiennement les ressources à tirer tout le parti possible des images produites et mises en vente sans discrimination. Plusieurs organismes du gouvernement des Etats-Unis, notamment l'Agence pour le développement

*Notamment le Comité sur les programmes de télédétection pour l'étude des ressources terrestres (CORSPERS) et le Comité des applications spatiales (SAB).

international, l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace et le Service géologique, sont tout particulièrement tenus de remplir cette obligation qui découle de notre utilisation de territoires communs de l'espace extra-atmosphérique ; la tâche qu'ils peuvent accomplir est exposée au chapitre VIII de notre rapport.

Nous avons examiné, mais n'avons pas trouvé possible de le faire figurer dans notre rapport, les incidences éventuelles de la technologie de la télédétection sur la répartition de la puissance, de la richesse et des revenus entre les pays qui l'utilisent et à l'intérieur de chacun d'eux. Il est matériellement impossible d'isoler, parmi tous les outils du développement, les effets sur la justice sociale de cet instrument d'exploitation des ressources, pris isolément.

En ce qui concerne l'équité internationale, il est manifeste qu'un pays en voie de développement doit avoir une maîtrise réelle de ses propres ressources ; plus il peut obtenir d'informations sur ces ressources, plus son contrôle sera efficace.

Cependant, dans les cas où l'exploitation de ressources tourne d'une façon disproportionnée à l'avantage d'investisseurs étrangers (qu'ils soient gouvernementaux ou privés), tout nouvel outil permettant une meilleure exploitation de ces ressources tendra à accroître cette injustice. Des informations sur des ressources ayant une grande valeur économique sont indubitablement d'une utilité toute particulière pour ceux qui détiennent le capital et le savoir-faire permettant de les utiliser ; dans le passé, il s'est fréquemment agi de grandes entreprises multinationales (et le fait qu'elles soient privées ou socialisées ne change rien à notre argument). Cette situation est bien entendu déjà en cours de changement : les gouvernements des pays en voie de développement apprennent vite l'art et la manière de tirer des revenus accrus des redevances, de nationaliser les ressources que des étrangers ont découvertes, et de s'unir pour parvenir à une "autonomie collective". De toute façon, l'antidote de l'injustice internationale, ce n'est pas fuir les moyens de la croissance, mais réorganiser les mécanismes de commande et les stimulants qui gouvernent les crédits, les investissements et le commerce internationaux de façon à permettre aux pays en voie de développement d'augmenter leur part dans la croissance qu'autorisent leurs propres ressources.

Pour ce qui est de l'équité à l'intérieur des pays, il est désormais prouvé que la croissance économique ne mène pas nécessairement à la justice sociale. Une étude portant sur 43 pays en voie de développement a fait apparaître que les 60% des plus pauvres de leurs populations ne perçoivent que 26% de leur produit national, et que la répartition du revenu dans les pays possédant des richesses minières tend à être sensiblement plus défavorable que dans les autres. Quel que soit l'étalon de mesure choisi, alimentation, alphabétisation, santé publique, il semble que le nombre de pauvres soit plus grand sur la terre (pour une bonne part du fait du simple accroissement démographique)

qu'avant les "décennies de développement" successives que nous vivons. L'héritage du pouvoir colonial est toujours une donnée du problème, mais l'indépendance nationale et le développement économique ont créé leurs propres élites et leurs propres hiérarchies, dont les priorités ne sont pas la guerre à la pauvreté.

Mais encore une fois, l'antidote de l'injustice sociale ne consiste pas à refuser de nouveaux outils permettant de découvrir et de recenser des ressources qui sont la clé du développement. Il convient bien plus de faciliter des réformes internes conçues de telle sorte que le processus de développement dans son ensemble serve aux besoins essentiels de l'humanité : ce que la Banque mondiale appelle aujourd'hui "croissance avec redistribution".*

A l'expérience, ce sont les implications internationales de la télédétection qui ont constitué la partie la plus délicate de notre analyse ; la dimension politique de cette technologie, mondiale par nature, s'est imposée à nous comme étant inséparable de son évolution technique et ayant un intérêt particulier pour les pays en voie de développement. Nous avons formé, pour conseiller le Comité dans ce domaine particulier, un groupe ad hoc réunissant des membres du Comité et des personnalités extérieures, et dont les noms sont mentionnés à un autre endroit du présent rapport.

Faire des suggestions sur les institutions qu'il faudrait édifier afin de juguler, canaliser et conduire des technologies nouvelles figure parmi les tâches, interdisciplinaires les plus exigeantes. Parfois, comme ce fut le cas pour le projet Manhattan qui a débouché sur les premières armes atomiques, nous n'essayons même pas jusqu'à ce qu'il soit trop tard. Et pourtant, il est essentiel lorsque l'on met en forme des systèmes complexes de bâtir en parallèle et non en série le matériel et l'organisation humaine. Dans certains cas, la Veille météorologique mondiale et INTELSAT en sont des exemples récents, même s'ils sont fort différents, c'est peu après que la perception des technologies futures soit devenue raisonnablement claire que l'on a commencé à réfléchir sur les mécanismes institutionnels. L'expérience tend à

*Bien que cette question sorte des limites de notre mandat, il importe de ne pas l'oublier dans toute étude de nouvelles techniques propres au développement. Des données particulièrement précieuses figurent dans Irma Adelman et Cynthia Taft Morris, *Economic Growth and Social Equity in Developing Countries*, Stanford, Californie, Stanford University Press, 1973 ; Hollis Chenery et al., *Redistribution with Growth*, Londres, Oxford University Press, 1974 ; et John et Madga Cordell MacHale, *Human Requirements, Supply Levels and Outer Bounds*, Princeton, New Jersey, Aspen Institute for Humanistic Studies, Program in International Affairs, 1975. Certaines suggestions de caractère politique figurent notamment dans Irma Adelman, "*Growth, Income Distribution and Equity-Oriented Development Strategies*", *World Development*, 3 . 67-76 (février-mars 1975) ; et dans *The Planetary Bargain . Proposals for a New International Economic Order to Meet Human Needs*, Princeton, New Jersey, Aspen Institute for Humanistic Studies, Program in International Affairs, 1975, pp. 16 à 19. Se reporter aux commentaires du Professeur Adelman, page 209 du présent rapport.

démontrer que l'invention et l'organisation d'institutions internationales efficaces prennent au moins autant de temps que le passage d'une idée scientifique prouvée à un système technologique exploitable.

Avec la télédétection, nous n'avons pas affaire à un système complexe unique : une explosion nucléaire à déclencher, une couverture météorologique à l'échelle du globe, ou un réseau mondial servant à transmettre des formes familières de communication, mais à une technologie nouvelle, en expansion rapide, capable de fournir des formes inédites et extrêmement variées d'informations à l'ensemble du processus de développement, qu'il soit planifié ou non. Les images des détecteurs emportés par les véhicules spatiaux ne sont qu'un élément d'un arsenal beaucoup plus vaste d'analyse où figurent également l'observation aérienne ainsi que d'innombrables faits et interprétations recueillis à la surface de la Terre.

Ayant affaire à l'information, nous traitons d'un élément de pouvoir : dans le cas présent (s'il est combiné avec des capitaux et du savoir-faire), le pouvoir de développer des ressources, le pouvoir de satisfaire aux besoins des peuples, le pouvoir d'être autonome dans un monde marqué par l'interdépendance. En 1976, les Etats-Unis avaient le quasi-monopole de ce nouveau pouvoir, situation qui n'est pas destinée à durer. Ce que le peuple américain fera à travers son gouvernement de cette technologie "made in America", comment, quand et dans quelles conditions nous partagerons ces capacité avec d'autres, voilà qui déterminera dans une très large mesure si la télédétection doit devenir une source de conflits internationaux ou un atout majeur pour faire face aux besoins humains par le recours au développement international.

Tout porte à croire que le monopole de décision que nous détenons actuellement dans le domaine de la télédétection spatiale devrait être attaqué de deux côtés : par les programmes spatiaux d'autres nations industrialisées, et par les demandes de participation des nations dont nous observons le territoire de l'espace. La Communauté européenne, le Japon, l'Union soviétique et l'Inde envisagent notamment d'expérimenter des satellites d'observation de la Terre, tandis qu'un certain nombre de pays "détectés" se montrent rétifs. A en juger aux discussions bilatérales et aux débats du Comité des Nations Unies sur l'espace extra-atmosphérique et de son sous-comité juridique, ces pays sont préoccupés à divers degrés par le fait (a) que la collecte d'informations sur les ressources par télédétection constitue en soi une invasion de leur souveraineté nationale, (b) que la diffusion de ces informations à d'autres pays et à des sociétés multinationales peut affaiblir leur position dans les négociations économiques, et (c) que les images de la télédétection peuvent révéler à leurs voisins ce qu'ils ne sont pas supposés savoir quant à leur terrain, leurs arrangements en matière de sécurité ou leurs ressources économiques.

Ces doutes et ces craintes n'ont pas encore fait de la télédétection une question de premier plan dans la "négociation planétaire". Mais, d'une façon ou d'une autre, il paraît inévitable et probablement souhaitable que les

"consommateurs" ainsi que d'autres "producteurs" de données de télédétection insistent pour participer aux décisions sur l'utilisation des images de la télédétection, sur la configuration de nouveaux détecteurs et sur la gestion des installations de réception et de traitement au sol. Notre rapport recommande que soit officiellement reconnu sans tarder le caractère international inhérent de la technologie de la télédétection. *Le gouvernement des Etats-Unis devrait déclarer sous peu que les systèmes de télédétection constituent en fait un service public international, devant relever un jour ou l'autre d'une autorité internationale.*

Le chapitre VII de notre rapport étudie les différentes formes d'organisations internationales qui pourraient se révéler appropriées à la technologie de la télédétection. Pour le secteur sol du système, les options en présence sont des accords bilatéraux avec les pays propriétaires des stations au sol, l'établissement de stations régionales, la coordination par le biais d'une agence internationale spécialisée (dans le cadre des Nations Unies ou non), ou un système unitaire appartenant à un organisme international et géré par lui (dans le cadre des Nations Unies ou non). Le secteur spatial pourrait continuer d'être propriété des Etats-Unis qui l'exploiterait ; il pourrait être repris par un consortium de pays disposés à faire des investissements (sur le modèle d'INTELSAT) ; il pourrait prendre la forme d'un arrangement multinational selon lequel plusieurs pays seraient propriétaires de satellites de télédétection, mais les exploiteraient à la façon d'un système unique (c'est le modèle de la Veille météorologique mondiale) ; ou ce pourrait être un service public exploité dans un cadre intégralement international.

Il paraît prématuré d'opérer dès maintenant un choix définitif parmi ces options, et ce pour différentes raisons :

- Certains pays demeureront réticents à s'engager dans la technologie de la télédétection tant que les Etats-Unis n'auront pas donné d'assurances formelles quant à la continuité du système. Etant donné que la technologie en est encore à une phase expérimentale et qu'il faudra quelques années pour qu'elle devienne pleinement opérationnelle, le monde attend des Etats-Unis qu'ils indiquent assez clairement que le système doit être un élément permanent des activités du gouvernement. Le Congrès des Etats-Unis pourrait dissiper cette ambiguïté en examinant des dispositions législatives affectant le système, à titre de fonction permanente, à un organe gouvernemental établi, ou créé spécialement.
- Jusqu'à présent, les Etats-Unis ont été seuls à financer les travaux de recherche et de développement ainsi que l'exploitation du secteur spatial du système. Mais une fois que ce sera clairement un élément permanent du tableau international, des contributions financières pourraient probablement être demandées en échange d'une voix réelle dans les processus de décision sur

la gestion et les technologies ultérieures. Au train où vont les technologies nouvelles, la télédétection a été jusqu'à présent remarquablement peu coûteuse : le total des investissements consacrés aux trois LANDSAT (le troisième n'étant pas encore lancé) et aux systèmes installés sur le sol des Etats-Unis ne dépassera pas 250 millions de dollars, somme tout juste suffisante pour acheter deux destroyers modernes ou un sous-marin d'attaque à propulsion nucléaire. Les propositions budgétaires de la NASA pour l'exercice fiscal 1977 se montent à 67,3 millions de dollars pour la recherche et le développement dans le domaine de la détection des ressources et de la surveillance de l'environnement.

- La technologie de la télédétection en étant encore aux balbutiements, certaines décisions importantes restant à prendre doivent être pesées soigneusement pour s'assurer qu'elles cadrent avec une méthode échelonnée conduisant à une internationalisation du système. Nous nous bornerons à un exemple précis : la NASA travaille sur un satellite de relais des télécommunications qui, pour des motifs d'économie et d'efficacité, recueillerait les données provenant d'un grand nombre de satellites américains spécialisés (météorologique, atmosphérique, de détection des ressources, de recherches spatiales), et les transmettrait à un seul point de réception localisé aux Etats-Unis. Ces données pourraient alors être retransmises à des utilisateurs situés en d'autres points des Etats-Unis ou dans l'ensemble du monde. La lumière n'est pas encore faite sur les coûts et les problèmes techniques que pourrait impliquer la retransmission rapide des données sur les ressources à d'autres pays, tandis que les conséquences éventuelles de ce système de relais sur la réception directe dans d'autres régions et dans d'autres pays (sans parler de leurs réactions à un système aussi centralisé et exclusivement américain) sont à l'heure actuelle imprévisibles.

Nous n'avons pas formulé de recommandations sur une position américaine quant à la forme d'internationalisation pouvant cadrer en fin de compte à la fois avec la technologie et la politique d'une télédétection globale des ressources. Mais il nous semble important de prendre rapidement les décisions suivantes :

- Un engagement public pris dès à présent sur l'établissement ultérieur d'un régime international. Les Etats-Unis devraient commencer immédiatement à mettre au point leur proposition pour un tel régime et, dans l'intervalle, diriger les activités nationales de télédétection de telle sorte qu'elles soient compatibles avec une internationalisation ultérieure.
- Une démarche (nécessitant un acte législatif) en vue d'assurer la continuité de la couverture et de la transmission aux utilisateurs des données de télédétection. Une déclaration d'intention des Etats-Unis, précisant qu'ils poursuivront le développement de cette technologie, renforcerait les pré-

somptions que la télédétection des ressources terrestres est mise en place pour durer.

- Un travail de consultation à l'échelle du monde afin de faire intervenir "consommateurs" et futurs "producteurs" de données de télédétection dans les décisions sur la gestion du système et l'avenir de la technologie. Les consultations nécessaires pourraient être organisées en partie dans le cadre des préparatifs américains aux futures conférences des Nations Unies : les deux réunions sur l'eau et la désertification de 1977, et la Conférence des Nations Unies sur la science et la technologie pour le développement, inscrite au calendrier de 1979.

La NASA a déjà procédé à un grand nombre de consultations, portant en particulier sur des arrangements bilatéraux détaillés ; de fait, cet organisme s'est depuis longtemps reconnu l'obligation de traiter ses expériences à l'échelle du monde comme une occasion de coopération internationale. Mais les consultations que nous proposons ici atteindraient des dimensions différentes et devraient être menées à un niveau gouvernemental plus élevé. Même si nous ne sommes pas aujourd'hui en mesure de dire avec précision comment cette remarquable technologie devrait être organisée pour en tirer un maximum de profit pour l'homme et pour réduire au strict minimum les risques de différends internationaux qu'elle porte en puissance, nous estimons qu'elle représente la prochaine grande occasion d'un leadership américain dans la "politique de l'ordre mondial". Les déclarations d'intention que nous proposons, et des consultations approfondies et suffisamment ouvertes pour être crédibles auprès de ceux que cette technologie touche dans d'autres pays du monde, peuvent faire beaucoup plus que le simple fait d'obtenir un consentement pour un système viable de financement et de gestion. De telles mesures devraient très vraisemblablement améliorer la qualité de nos propres décisions nationales pendant tout le temps où nous resterons les gardiens d'un système mondial nouveau et riche de promesses.

# I Résumé et recommandations

Dans le présent rapport, le Comité commence par étudier le problème des informations sur les ressources et de leur utilisation dans les pays en voie de développement. Il décrit ensuite, plus particulièrement à l'intention des personnes qui ne sont pas familiarisées avec elle, la nouvelle technologie de la télédétection spatiale des ressources terrestres. Dans les deux chapitres qui suivent, le Comité passe en revue les essais d'utilisation des données de satellites qui ont été faits dans divers secteurs d'application et les améliorations que l'on peut attendre de futurs progrès techniques. Le rapport examine alors les perspectives et problèmes de l'utilisation des données de satellites par les pays en voie de développement, avant d'évoquer les questions internationales qui devront être résolues pour faciliter la diffusion et l'exploitation élargies de ces données. Le rapport s'achève par des recommandations qui abordent certaines questions de politique et initiatives de coopération technique susceptibles de promouvoir la diffusion de cette technologie.

On trouvera ci-après un résumé des conclusions du Comité, dans le même ordre que les chapitres du rapport.

## L'information sur les ressources dans les pays en voie de développement

Le développement économique de la plupart des pays non industrialisés repose pour l'essentiel sur leurs ressources naturelles. Mais dans l'ensemble, ces nations n'ont pas une connaissance suffisamment approfondie de la nature, de la quantité et de l'emplacement de leurs ressources afin de les mettre efficacement en valeur pour le bien-être et le progrès de leur population.

Dans une grande partie du monde en voie de développement, il n'existe toujours pas de cartes suffisamment détaillées. Beaucoup de pays doivent encore établir l'étendue et l'état de leurs terres arables, de leurs forêts, de leurs terrains de parcours et de leurs ressources en eau et recenser les zones qui méritent une prospection minière. A une époque que guette la pénurie mondiale d'énergie et de denrées alimentaires et où l'on observe une détérioration croissante de l'environnement, il est d'une importance vitale de

surveiller les conditions d'évolution du domaine naturel : prévoir les rendements des récoltes, détecter l'érosion des sols et la pollution des eaux, détecter les altérations dans l'utilisation des terres, anticiper les catastrophes naturelles et évaluer leurs dommages, et observer bien d'autres aspects des changements de l'environnement.

La nature, l'étendue, le volume et le souci de détail des informations à recueillir sur les ressources varieront d'un pays à l'autre. Les besoins en informations d'un pays donné seront déterminés notamment par son étendue, les objectifs de son développement et la quantité d'informations qu'il a déjà accumulées. Deux facteurs fixent des limites pratiques à la quantité d'informations sur les ressources qu'un pays peut acquérir et utiliser : les coûts de l'acquisition des données, et sa capacité à assimiler l'information et à l'utiliser de façon productive.

Dans tous les pays, les informations sur les ressources proviennent traditionnellement de différentes sources, sont recueillies par une grande variété de moyens, et sont souvent conservées dans des organismes distincts. C'est pour ces raisons, entre autres, que les responsables nationaux de la planification ont rarement fait entrer dans leurs programmes des informations précises et à jour sur leurs ressources et sur les données de l'environnement. Les informations disponibles sur les ressources nationales ont été plus fréquemment intégrées dans la planification de projets de développement isolés qui nécessitent en général des données plus rigoureuses et plus nettement délimitées. Au-delà des données nécessaires pour des objectifs nationaux apparaît une demande croissante de données sur les ressources et l'environnement à l'échelle multinationale afin d'atteindre des objectifs régionaux ou mondiaux tels que la prévision des rendements de récoltes, la surveillance de l'environnement et la mise en valeur de bassins fluviaux.

L'ensemble de ces objectifs nécessite des procédés de plus grande envergure pour examiner les ressources fondamentales d'un pays ou d'une région, ainsi que des moyens améliorés, tant techniques que gestionnels, de faire intervenir les informations sur les ressources dans la planification du développement et la gestion des ressources naturelles.

## Technologie de la télédétection spatiale

Dans la longue évolution des techniques de collecte des informations sur les ressources, le premier satellite d'étude des ressources terrestres, LANDSAT-1, lancé par la NASA en juillet 1972, constitue une étape technologique majeure. Sa nouveauté réside dans la combinaison de deux innovations techniques récentes : l'utilisation d'une plate-forme spatiale à la place de l'avion, et l'utilisation d'un analyseur multibande à la place de la technique photographique traditionnelle.

Parcourant une orbite quasi polaire de 920 km d'altitude, le satellite porte un analyseur à balayage multibande qui détecte, dans quatre bandes d'ondes différentes, l'intensité relative de la lumière réfléchie par des objets et caractéristiques de la surface terrestre, ayant chacun des propriétés de rayonnement particulières appelées également "signature spectrale". Ces intensités de rayonnement sont enregistrées de façon différente dans les bandes choisies, situées dans les parties visible et infrarouge du spectre électromagnétique, et sont transmises par télémesure à des stations de réception au sol.

Les données du satellite sont traitées pour être transformées en deux types de produits : images de type photographique, sur film transparent ou support opaque, et bandes magnétiques. Des photointerprètes et analystes sur calculateur qualifiés peuvent tirer de ces produits de données des informations utiles pour une large gamme de disciplines ayant trait aux ressources et de besoins en matière de gestion. Les bandes numériques, qui contiennent davantage de données qu'une simple image photographique, peuvent être utilisées pour obtenir toute une variété de produits destinés à l'interprétation humaine, mais peuvent également subir des traitements complémentaires sur calculateur pour fournir des informations détaillées sur les signatures spectrales qui présentent de l'intérêt pour les responsables des ressources.

L'utilisation de plates-formes spatiales pour la télédétection est marquée par trois caractéristiques exclusives :

Vue synoptique—Les "vues" de LANDSAT couvrent des surfaces de 185 km au carré avec une résolution géométrique de 80 m. Voir "d'un seul coup d'œil" une aussi grande superficie avec un éclairement solaire fixe et selon une projection quasi orthogonale (verticale) est particulièrement précieux pour la cartographie et pour reconnaître des caractéristiques à grande échelle et des schémas de végétation difficiles à détecter par d'autres moyens.

Caractère répétitif de l'observation—Le passage répété du satellite tous les 18 jours (ou tous les 9 jours depuis le lancement de LANDSAT 2 en janvier 1975) sur la même partie de la surface terrestre fournit une possibilité sans égale de surveiller des phénomènes dynamiques, comme les modifications de la couverture végétale et de l'hydrologie, et d'acquérir à des dates différentes les images nécessaires pour identifier plus exactement des caractéristiques statiques en matière de ressources.

Uniformité—Les orbites de LANDSAT sont héliosynchrones ; chaque zone terrestre est observée approximativement à 09.30 h, heure locale, dans le monde entier. La régularité de l'angle d'incidence solaire et de la visée verticale permet d'établir des mosaïques d'images à l'échelle d'un continent et de superposer des scènes vues à des dates différentes afin de procéder à des comparaisons précises.

Des stations de réception LANDSAT et des centres de diffusion de données sont déjà en exploitation aux Etats-Unis, au Canada, au Brésil et en Italie ; une station est en construction en Iran et plusieurs autres sont en projet. Chaque station pouvant recevoir les données du satellite dans un rayon de 3000 km, il suffirait de 20 stations correctement situées pour couvrir la quasi-totalité des terres émergées habitées. On dispose dès maintenant d'images de LANDSAT sans couverture nuageuse, à une ou plusieurs dates, pour la quasi-totalité de la surface des continents.

Pour certaines applications, les données de LANDSAT suffisent à elles seules. Pour d'autres, elles constitueront un apport important à un système de collecte de données à plusieurs niveaux, comportant en outre la détection aérienne et l'observation au sol. La détermination de la "vérité terrain" par des études au sol est fréquemment indispensable pour l'interprétation des données de la télédétection. Quant à l'avion, il reste sans équivalent pour l'acquisition de données de très haute résolution géométrique et en raison de sa souplesse qui lui permet d'observer une zone donnée au moment voulu.

## L'expérience des LANDSAT

Les études menées principalement aux Etats-Unis sur l'utilité des données des LANDSAT actuels dans des applications pratiques ont fourni des résultats mitigés : d'une très grande utilité pour certains objectifs, elles n'en ont pas, ou guère, pour d'autres. Toutefois, dans de nombreux cas où ces données ne correspondent pas aux spécifications extrêmement sévères des utilisateurs, propres aux Etats-Unis, elles peuvent donner de très bons résultats dans les pays en voie de développement où les utilisateurs se font moins exigeants et où les données disponibles sur les ressources sont très restreintes. Les paragraphes qui suivent présentent succinctement les informations disponibles en 1976 sur les possibilités et les limites des données de LANDSAT dans les principaux secteurs d'application envisagés :

### Production agricole :

*Superficies cultivées*—Précision de 95 % pour l'identification des cultures dans des grandes parcelles homogènes comme les champs de blé des Etats-Unis ; 75 à 80 % dans les zones complexes (petites parcelles, interpénétration des cultures) caractéristiques des pays en voie de développement. Cette précision est insuffisante pour l'estimation des superficies, mais constitue une base sur laquelle on peut établir un système d'échantillonnage statistique de l'agriculture.

*Prévision des rendements*—Ne constituent pas à elles seules un moyen de remplacement acceptable des méthodes existant aux Etats-Unis, mais

donnent des résultats prometteurs dans des procédures de modélisation en combinaison avec des données météorologiques et autres.
*Etude des sols*–Résultat encourageant pour les études des systèmes de sols et de terres au niveau de la reconnaissance : avec un traitement numérique, se sont montrées capables, à l'occasion d'une expérience menée dans le Middle West, d'établir des cartes détaillées des sols à des échelles pouvant atteindre 1 : 24 000.

Gestion des terrains de parcours : Peuvent fournir des données utiles pour un inventaire, mais ne sont pas en mesure d'identifier tous les types de végétation. Faisabilité technique de surveiller des modifications importantes de la végétation avec utilisation de données météorologiques et dans le cas d'une périodicité de 9 jours pour les passages de LANDSAT.

Gestion forestière ; Efficaces pour améliorer les procédés d'échantillonnage pour l'estimation du volume du bois sur pied, surveiller les abattages du type coupe claire, et dresser la carte de certains types d'incendies de forêts. Utiles dans les pays en voie de développement pour surveiller le déboisement. Insuffisantes en regard des normes légales américaines pour l'inventaire des essences.

Gestion des ressources en eau : Extrêmement fiables pour localiser les eaux de surface. Utiles pour étudier les grandes caractéristiques d'un bassin versant qui affectent le ruissellement. Efficaces pour délimiter les grandes zones inondables. Peuvent fournir des données intéressantes pour établir des modèles de consommation d'eau à l'occasion de grands projets d'irrigation. Permettent de déceler les caractéristiques géologiques indiquant la présence probable de nappes d'eau souterraines.

Etudes géologiques et exploration pétrolière et minière : Contribuent à améliorer la cartographie géologique des Etats-Unis et permettent aux pays en voie de développement d'établir pour la première fois des cartes géologiques de régions déterminées. Sans équivalent pour faire ressortir les grandes anomalies géologiques qui indiquent des possibilités de minéralisation. Sont une source d'économie en attirant l'attention sur les zones où des études plus détaillées par avion et par travail au sol peuvent être rentables.

Cartographie : Utiles pour corriger et mettre à jour les cartes existantes des Etats Unis au 1 : 250 000. Alors que plus de la moitié du monde en voie de développement n'a pas encore été cartographié à des échelles plus petites que 1 : 1 000 000, fournissent le moyen de cartographier rapidement et économiquement les régions mal connues, de mettre à jour les cartes existantes avec une précision acceptable, et d'indiquer quelles sont les zones qui nécessitent des images par avion à plus haute résolution. Peuvent servir de base à un système de cartographie photographique "automatisé" de l'ensemble de la Terre.

Occupation des sols–Aménagement du territoire : Du fait de sa résolution géométrique, le LANDSAT est actuellement d'un intérêt limité pour la plupart des urbanistes. Utile aux responsables de la planification régionale en fournissant une mise à jour fréquente des modifications approximatives de l'occupation des sols entre grandes catégories comme l'agriculture, les marais et marécages, les forêts, les zones urbanisées. Vue synoptique de vastes superficies, particulièrement utile pour les pays en voie de développement.

Démographie : Les données des LANDSAT actuels sont utiles pour étudier certains schémas de croissance urbaine, mais une résolution géométrique plus fine est nécessaire compte tenu des impératifs de détail imposés par la plupart des activités de l'Institut fédéral de la statistique. Dans les pays en voie de développement, permettent de repérer l'emplacement de nouveaux villages et contribuent à définir les densités démographiques.

Protection de l'environnement : Résolutions géométrique et temporelle insuffisantes pour les normes américaines de surveillance de certains aspects de la qualité des eaux ou de certaines perturbations des zones très humides. Le pouvoir de repérer les changements de coloration des eaux peut mener à la détection de rejets industriels et citadins dans les effluents, de courants provoquant l'envasement, et de nappes d'hydrocarbures ou de suintements de pétrole dans les zones côtières. Possibilité de surveiller les exploitations minières à ciel ouvert et la détérioration des terres dans des zones arides comme le Sahel.

Ressources maritimes, océanographie et génie côtier : Utiles de façon marginale pour surveiller les eaux côtières afin de repérer l'habitat de certaines espèces de poissons et les changements de profondeur dans les chenaux de navigation. Utiles pour surveiller les modifications du littoral, dues aussi bien à l'érosion qu'à l'envasement, d'une certaine ampleur. Les satellites météorologiques sont en général plus utiles que LANDSAT pour les applications de l'océanographie et des ressources maritimes.

Prévision et évaluation des catastrophes naturelles : Périodicité des passages insuffisante pour donner l'alerte dans la plupart des cataclysmes. Bonnes possibilités pour l'évaluation des dommages causés par la sécheresse, les feux de forêts, les inondations et autres catastrophes pour les cultures ; possibilités incertaines pour les tremblements de terre et les ouragans.

Santé publique et lutte contre les épizooties : Permettent de repérer et de cartographier les types de végétation qui servent de terrains de reproduction ou d'habitats pour les insectes vecteurs de maladies.

Dans la plupart des applications exposées jusqu'ici, les données de LANDSAT ont été utilisées à titre expérimental ; rares sont les utilisateurs de

données sur les ressources qui ont adapté leurs services en fonction de cette nouvelle technologie. Il existe toujours un fossé entre les expériences techniques et leur utilisation par les responsables des ressources. Pour le combler, il faudrait renforcer l'interaction entre eux et avec les responsables de la planification et des décisions dans les activités de gestion des ressources.

Certaines des limites qui ont été relevées dans les études des moyens actuels des LANDSAT ne sont pas intangibles. D'importantes capacités et applications nouvelles des données de la télédétection sont découvertes chaque jour, parallèlement à l'amélioration croissante des techniques de traitement et d'analyse des données.

## Perspectives technologiques

Au cours de la prochaine décennie, la technologie de la télédétection spatiale devrait connaître une croissance régulière et des modifications continues. Les limites et les faiblesses de la technologie de la première génération doivent être notablement réduites avec la mise en service des systèmes actuellement sur la planche à dessin.

Avant 1980, certains progrès seront faits avec le lancement de LANDSAT C, devant succéder aux LANDSAT 1 et 2. L'analyseur à balayage multibande du LANDSAT C comportera une cinquième bande de détection thermique, précieuse pour l'estimation de l'humidité des sols ; ce véhicule spatial emportera en outre un système de détection constitué par des caméras de type télévision ayant une résolution de 40 mètres. Ces performances accrues devraient être particulièrement utiles pour certains aspects de l'agriculture, de la gestion des terrains de parcours, de l'inventaire de l'occupation des sols et de la cartographie.

Des résultats plus substantiels sont attendus du satellite LANDSAT D, dont on prévoit la mise en orbite au début de la prochaine décennie et qui emportera un détecteur de deuxième génération, le Thematic Mapper, travaillant dans six ou sept bandes spectrales de 30 mètres de résolution, degré de précision qui semble repondre aux besoins de nombreux utilisateurs. L'amélioration escomptée des résolutions géométrique et spectrale sera particulièrement importante pour la gestion de l'agriculture et des pâturages : meilleure identification des cultures, détection de l'humidité des sols et du dépérissement de la végétation, et évaluation de l'état de la biomasse dans les pâturages, sans oublier l'identification des systèmes de fractures et de couches géologiques, et la classification de nombreux types d'utilisation des terres.

Au cours de la prochaine décennie, l'analyse des données sur les ressources se basera de plus en plus sur la combinaison de données provenant d'un certain nombre de satellites spécialisés : météorologiques, océanographiques et hydrologiques, dont le lancement est envisagé pour cette époque. Un sys-

tème expérimental faisant appel au radar de prise d'images pourrait avoir un intérêt particulier pour les pays sujets à une couverture nuageuse persistante, laquelle ne peut être traversée par les détecteurs de LANDSAT.

Ces données provenant de sources multiples, utilisées avec des modèles de croissance de la végétation, d'hydrologie et d'autres phénomènes dynamiques, devraient permettre d'établir des systèmes de surveillance à l'échelle du globe et de la région, dont les conséquences devraient être importantes pour la prévision des rendements des récoltes, la gestion des ressources en eau et des terrains de parcours, et l'observation des conditions écologiques.

Il sera nécessaire d'apporter des modifications aux systèmes du secteur sol pour que ces derniers restent au niveau des progrès prévus du secteur spatial. Comme le seul Thematic Mapper fournira un beaucoup plus gros volume de données, la capacité des futures installations de réception et de traitement devra être notablement accrue. La rapidité de la fourniture des données aux utilisateurs constituera également un impératif important.

## L'utilisation de la télédétection dans les pays en voie de développement

L'analyse des données de satellites va d'opérations relativement simples, comme la photo-interprétation d'images visuelles, qui permet d'identifier des zones à structures simples et de procéder à de grandes classifications, à des activités très complexes comme l'analyse numérique et les traitements sur calculateur servant à renforcer les constrastes d'images de zones complexes.

Nombreux sont les pays en voie de développement qui ont commencé d'utiliser des images de LANDSAT sur film et sur épreuve et qui ont participé à des programmes de formation et à des projets de recherche ; parmi eux, un certain nombre se sont assurés les services d'organismes extérieurs. Plusieurs pays possèdent leurs propres stations de réception ou en ont en projet, et quelques-uns sont désormais en mesure de passer à des formes plus complexes d'utilisation des données. Les données de LANDSAT ont été mises en pratique pour la cartographie géologique, l'étude des sols, la prospection des minerais, la gestion des ressources en eau, l'implantation de moyens de transport, la détection de la pollution côtière, et autres applications.

Le caractère modulaire de cette technologie permet aux pays de passer progressivement à son utilisation en commençant avec un matériel simple et quelques personnes entraînées travaillant dans le cadre de services techniques existants. Plus un pays souhaite acquérir d'autonomie, de souplesse et de polyvalence dans l'utilisation des données sur les ressources terrestres provenant de l'espace, plus lourds seront les investissements qu'il devra faire sous forme d'équipements, de formation de personnel, et de modifications de caractère organique et opérationnel. Mais dans bien des cas, une utilisation,

même pour un coût relativement modéré, de cette technologie devrait se traduire par de nombreux avantages dans les années qui viennent.

La pénurie de personnel qualifié est le principal facteur qui limite la capacité qu'ont les pays en voie de développement d'assimiler cette technologie. Il existe un besoin de programmes pour informer les responsables politiques, les aménageurs et les gestionnaires des ressources au sujet des possibilités de cette technologie ; pour la formation accélérée, mais approfondie, de scientifiques et de spécialistes des ressources naturelles qui leur permette d'analyser les données fournies par les satellites dans leurs disciplines respectives ; et pour une formation universitaire de plus longue durée à l'intention de ceux qui auront à traiter de ses aspects techniquement les plus exigeants. Pour recevoir le nombre croissant de personnes qui devront être formées au cours de la prochaine décennie, les établissements d'enseignement devront modifier leurs orientations et élargir leurs capacités dans ce domaine.

Une vingtaine de pays ont entamé le processus menant à l'institutionnalisation des activités de télédétection dans leurs administrations ; quelques-uns ont créé des organismes spécialisés à cette fin. La multiplication de stations de réception autour du globe, couvrant chacune de vastes territoires, fournit l'occasion de créer des centres régionaux en coopération où peuvent être rassemblées des installations de base pour le traitement, le stockage, la diffusion et l'analyse des données de satellites ainsi que pour fournir les services nécessaires de formation et de conseils aux pays voisins. Il semble que des centres de ce type offrent les meilleures perspectives de mettre les moyens de la télédétection à portée des utilisateurs dans de nombreux pays en voie de développement.

## Problèmes internationaux—Perspectives

La télédétection spatiale a donné naissance à un certain nombre de préoccupations qui risquent d'affecter sa progression dans l'avenir et son acceptabilité sur le plan international. Même si elles paraissent s'estomper, ces préoccupations, qui ont trait à des questions de souveraineté, de sécurité et de vulnérabilité économique, se sont traduites dans l'enceinte des Nations Unies par des propositions tendant à exiger le consentement préalable d'un pays avant toute diffusion générale de données de satellites sur son territoire. Mais un point continue d'avoir un caractère critique, c'est la dépendance actuelle de tous les pays à l'égard d'un seul, les Etats-Unis, exploitant exclusif d'un système civil de détection des ressources terrestres par satellites et source exclusive de données disponibles dans le monde entier. En raison de cette dépendance et du fait que les Etats-Unis ne se sont pas engagés à exploiter de façon opérationnelle un service de télédétection, d'autres pays, ainsi que des utilisateurs nationaux à l'intérieur même des Etats-Unis, demeurent dubitatifs

quant à la continuité du programme. Le Comité, conscient de la nécessité de procéder à des expérimentations supplémentaires et de donner des assurances aux utilisateurs, recommande en conséquence

> Que les Etats-Unis affirment officiellement leur intention de continuer pendant une durée déterminée à développer la technologie du secteur spatial d'un système de détection des ressources, avec pour seules réserves les aléas du système, et de faire tout ce qui est en leur pouvoir au cours de cette phase expérimentale pour assurer la continuité de la détection spatiale et de la transmission des données aux stations et aux utilisateurs de produits en tout point monde.

Pour que le fonctionnement d'activités de télédétection à l'échelle du globe soit politiquement acceptable, il faut, semble-t-il, instaurer une forme ou une autre de cadre international. Plusieurs facteurs viennent à l'appui de cette affirmation : le caractère mondial de la technologie ; sa faculté d'atteindre des objectifs plurinationaux ; le souci d'apaiser les craintes et préoccupations nationales ; les avantages d'une méthodologie coopérative, en participation, par opposition à un système marqué soit par la dépendance soit par une rivalité potentielle ; et la perception accrue, aux Etats-Unis aussi bien que dans la communanté internationale, du fait que des activités menées dans un domaine commun de l'humanité, qu'il s'agisse des océans ou de l'espace, exigent que l'on rende compte sous une forme ou une autre à un organisme international.

Les problèmes de recensement, d'utilisation et de gestion des ressources du monde, et ceux que pose le maintien à la surface de la terre d'un environnement propre à la vie, nécessitent une action en coopération à l'échelle internationale. Une télédétection spatiale des ressources, organisée et gérée sous forme d'entreprise en coopération avec une sanction internationale, pourrait porter une lumière plus vive sur les délicats défis que posent à la communauté mondiale les ressources naturelles et sur les solutions nécessairement interdépendantes qu'il faut trouver pour les relever.

Ayant examiné différentes possibilités de gérer les secteurs spatial et terrien, le Comité est parvenu à la conclusion qu'il semble plus faisable et plus vraisemblable, à court terme, de tendre vers des arrangements multilatéraux pour les stations au sol et les services annexes que ce n'est le cas pour le contrôle et la gestion des satellites. Pour parvenir à une coopération internationale en ce qui concerne le secteur terrien, deux démarches souhaitables consisteraient à renforcer les consultations entre propriétaires de stations, propriétaires de satellites et utilisateurs de données, et à internationaliser les installations au sol à l'échelon régional. Le Comité recommande

> Que soit établi un mécanisme international destiné à promouvoir les consultations sur les aspects techniques et administratifs de la télédétection entre représentants des stations de réception, des pays propriétaires de satellites, et des pays qui sont déjà des utilisateurs importants des produits de la télédétection.

Que les Etats-Unis, ainsi que les autres pays et les organismes internationaux qui s'occupent de la télédétection spatiale des ressources et de l'environnement, œuvrent dans le sens de l'internationalisation sur une base régionale, chaque fois que c'est possible, des stations de réception et des services auxiliaires (notamment le traitement, l'analyse et la diffusion des données, la formation du personnel et les services consultatifs techniques), considérée comme un moyen souhaitable de conduire à une coopération et à un partage des coûts pour la gestion et l'exploitation d'un complexe au sol.*

Le Comité a examiné quatre modèles d'arrangements internationaux applicables au secteur spatial, qui illustrent le gamme des options proposées à la communauté mondiale. Cette gamme comprend la continuation de la situation actuelle, caractérisée par des satellites appartenant aux Etats-Unis et exploités par eux sous le couvert de directives fixées par un accord international ; un consortium de nations intéressées semblable à celui qui est à la base du système INTELSAT de gestion des satellites de télécommunications ; un système spatial et terrien combiné, appartenant à un organe international comme les Nations Unies et géré par lui ; et un système de satellites nationaux coordonné par une agence internationale, comme c'est le cas des satellites de la Veille météorologique mondiale coordonnés par l'Organisation météorologique mondiale.

Sans vouloir préjuger le caractère d'un futur cadre international adapté à un système universel de détection des ressources, le Comité a jugé important que le gouvernement des Etats-Unis fasse le nécessaire pour témoinger de son adhésion au principe d'un régime international. Le Comité recommande en conséquence

Que le gouvernement des Etats-Unis prenne dès aujourd'hui un engagement public au sujet de l'établissement futur d'un régime international pour le secteur spatial de systèmes de détection des ressources.

Que le gouvernement des Etats-Unis commence dès maintenant à étudier sa propre proposition pour un futur régime.

Que le gouvernement des Etats-Unis, en ce qui concerne les décisions affectant l'avenir de cette technologie au niveau national, s'engage dans une voie qui tende à faciliter son incorporation ultérieure dans un système international approuvé.

## Proposition de programme d'assistance en télédétection

Le Comité est suffisamment persuadé des promesses de la télédétection pour les pays en voie de développement pour conclure qu'un effort signi-

*Se reporter aux commentaires du Professeur Rathjens, page 214.

ficatif en vue de les aider à assimiler cette technologie est justifié. Cette tâche nécessite un effort soutenu de toutes les agences bilatérales et multilatérales qui se consacrent à l'assistance au développement. Mais les Etats-Unis ont des motifs particuliers d'ouvrir la voie à cet égard :

- Ce pays a pour politique affirmée de partager sa science et sa technologie avec les pays plus défavorisés afin de promouvoir leur développement. Ayant fait œuvre d'innovation dans la télédétection spatiale des ressources à l'échelle du globe et étant actuellement la seule source de données, il est placé devant une occasion exceptionelle de traduire dans les faits cette politique en permettant aux pays intéressés d'utiliser effectivement les données de ses satellites.
- Il est exceptionnellement bien placé pour assumer ce rôle du fait de sa primauté en matière de technicité et de ressources annexes.
- Il lui faut répondre aux préoccupations que cette technologie a fait naître dans certains pays qui craignent d'être défavorisés face à des étrangers mieux armés pour extraire des informations utiles des données des satellites. La politique américaine de diffusion des données sans restrictions a pour corrollaire une volonté de rendre cette technologie réellement accessible—en termes de capacité à l'utiliser—à tous les pays intéressés.

A ce jour, les Etats-Unis se sont engagés dans un programme d'assistance, canalisé pour l'essentiel par l'Agence pour le Développement international (AID), dont la modestie relative reflète les incertitudes des débuts quant à l'efficacité technique de la télédétection par satellite. Maintenant qu'il est possible d'évaluer de façon plus positive, même si elle reste nuancée, sa capacité, on possède une base technique pour prendre des engagements mieux fondés. Le Comité recommande en conséquence

> Que les Etats-Unis s'engagent au cours de la prochaine décennie, par le biais de l'AID et d'autre organismes multilatéraux lorsque ce sera possible, dans un effort systématique, prolongé et soutenu de transfert aux pays en voie de développement intéressés des moyens d'utiliser la technologie de la télédétection spatiale.*

Le programme AID de coopération technique dans le domaine de la télédétection spatiale, financé actuellement à un niveau d'investissements bien inférieur à un million de dollars par an, devrait être au moins décuplé et comporter les éléments suivants :

*Des programmes pilotes nationaux* pour contribuer à établir dans un certain nombre de pays, choisis pour la variété de leurs caractéristiques, des moyens nationaux élargis d'analyser et d'utiliser les données de la télédétection.

*Se reporter aux commentaires du Professeur Rathjens, page 214.

*Des projets de démonstration* pour montrer aux planificateurs et gestionnaires des ressources comment cette technologie opère dans différents secteurs des ressources, et pour traduire en principes méthodologiques l'expérience acquise.

*Des projets de recherche* pour étudier des problèmes propres aux pays en voie de développement en raison de conditions tropicales, de besoins en données particulières, et de nouvelles possibilités d'application.

*Des programmes d'information et de formation* pour aider les pays en voie de développement à connaître les possibilités et les limites de cette technologie, et à constituer progressivement les équipes de personnel techniquement compétent dont ils auront besoin.

*Des informations sur le matériel et une assistance pour son acquisition*, pour mieux faire connaître les différents matériels à acquérir et, le cas échéant, faciliter par des prêts ou des subventions l'achat d'éléments de matériel indispensables.

*L'utilisation des données de télédétection dans les projets patronnés par l'AID* pour renforcer les moyens de conception et de réalisation des projets internes de l'Agence et, parallèlement, ceux des pays bénéficiaires.

*Une assistance aux centres régionaux*, en coopération avec d'autres agences bilatérales et multilatérales, pour les aider à s'établir et leur permettre d'assurer efficacement leurs services de diffusion des données, de formation du personnel, et de conseil technique.

*Une initiative de coordination* pour faire en sorte que les divers courants de l'assistance en matière de télédétection soient complémentaires et se renforcement mutuellement, et pour doter les pays bénéficiaires d'une capacité permanente et fondée sur le plan institutionnel d'adapter cette technologie à leurs besoins.

# II L'information sur les ressources dans les pays en voie de développement

Ce chapitre vise à donner au lecteur un bref aperçu des informations dont les pays ont besoin d'une façon générale pour gérer efficacement leurs ressources. La question est présentée sans référence particulière à une technique de collecte des données. Il s'agit de planter le décor avant d'étudier la télédétection spatiale, mais non de suggérer qu'une seule technique permettrait de faire face à tous les besoins.

## Le besoin d'informations

Nombreux sont les facteurs qui influent sur le développement d'une nation : son système économique, sa structure sociale, son héritage culturel, son système politique et son environnement géographique, sans oublier les ressources humaines et naturelles dont elle est dotée. La masse de ses ressources naturelles et leur répartition géographique sont particulièrement importantes pour déterminer à la fois le potentiel et la direction de la croissance économique d'une nation.

Il n'est pas faux d'affirmer que l'existence de ressources naturelles et leur gestion sont particulièrement critiques pour l'avancement des pays en voie de développement. Dans les pays industrialisés, la vie économique et l'emploi sont désormais centrés sur les services, l'industrie, la distribution et les finances plus que sur l'exploitation des ressources naturelles, même lorsqu'elles constituent une part importante du produit national brut. Par contre, les pays en voie de développement sont en général plus dépendants de leur capital naturel, mais non condamnés pour toujours à cette dépendance, comme l'a montré l'expérience du Japon et de certains autres pays, pauvres en ressources naturelles.

Pour l'objet de la présente étude, nous ferons entrer dans la définition du terme *ressources naturelles* tout ce qui présente de la valeur pour l'homme dans son environnement physique : sol, eau, végétation, minerais, sources d'énergie, et nature du terrain. Ces ressources elles-mêmes sont étroitement liées ; les modifications touchant l'une d'elles peuvent avoir des répercussions

sur d'autres. Elles vont de ressources notoirement renouvelables, à d'autres pratiquement non renouvelables, mais aucune n'est jamais illimitée. Du fait de leur rareté relative, leur utilisation et leur conservation impliquent une planification rationnelle.

Comme le notait un rapport des Nations Unies de 1970, "Le processus de développement économique consiste dans une large mesure à organiser le développement et l'exploitation productive des ressources naturelles dans l'intérêt de l'ensemble de la collectivité".[1] Pour y parvenir de façon efficace, un pays a besoin de savoir quelles sont ses ressources et où elles se trouvent, et il lui faut une connaissance assez détaillée de son environnement physique global. Pour de nombreux pays en voie de développement, cette base de connaissances est limitée, fragmentaire, dispersée et, dans l'ensemble, moins que suffisante pour les objectifs d'un développement national équilibré. La capacité de recueillir, d'emmagasiner et d'utiliser les informations sur les ressources naturelles pour les grands objectifs du développement fait toujours défaut à de nombreux pays en voie de développement et même à certains pays industrialisés. A l'heure actuelle, la plupart des pays s'efforcent de rassembler des informations plus précises sur leurs ressources, ce que les méthodes et techniques modernes peuvent les aider à faire plus efficacement à leur plus grand profit.

## Catégories d'informations sur les ressources

Les principales catégories de ressources au sujet desquelles il existe un besoin d'informations et qui donnent lieu à une collecte systématique à plus ou moins grande échelle sont les suivantes :

### Eau

Le manque d'eau est en passe d'entraver le développement dans de nombreuses parties du globe. Les besoins en eau pour la consommation humaine, l'irrigation, l'hygiène, la production d'énergie, l'extraction minière et les industries de transformation ne cessent d'augmenter parallèlement à l'accroissement de la population mondiale et à l'élévation des niveaux de vie. La connaissance des ressources en eau est ainsi une pièce maîtresse des données que la plupart des pays doivent recueillir.

Même si les pays en voie de développement ont dans l'ensemble plus d'informations sur les eaux de surface que sur les eaux souterraines, il leur faut pour la plupart des données plus complètes sur ces deux catégories. Pour être efficace, la gestion des eaux exige un ensemble variable de données météorologiques et hydrologiques : volume des précipitations et variation du

débit des cours d'eau ; caractéristiques de la géologie, des sols et de la végétation des bassins versants, y compris le cas échéant des données sur l'étendue et la profondeur des neiges en haute montagne ; superficies irriguées ; proportion de l'eau utilisée par l'agriculture. Dans les pays où les crues sont fréquentes, il est important de connaître les surfaces inondées et de pouvoir prévoir à l'avance les crues potentielles. Des indications précises, à différents moments, de l'humidité des sols sont importantes pour l'estimation des récoltes et la planification agricole.

### Sols

On dispose aujourd'hui de cartes des sols à grande échelle (1 : 5 000 000) pour tous les continents et la cartographie au 1 : 1 000 000 est tout à fait courante ; mais pour les applications agricoles au plan national et local, il est indispensable d'avoir des cartes à beaucoup plus petit échelle (au moins au 1 : 200 000 et même au 1 : 100 000). Enfin, des cartes au 1 : 10 000 ou au 1 : 25 000 peuvent même être nécessaires pour des études spécialisées de terres irrigables. Or, les cartes des sols à plus petite échelle que le 1 : 1 000 000 sont relativement rares dans les régions en voie de développement.

Les pays ont besoin de connaître la répartition, la composition, les caractéristiques et la genèse des différents types de sols qu'ils possèdent. Ces profils de données entrent dans la détermination de la capacité des sols ou d'une possibilité d'utilisation de la terre, élément vital d'évaluation pour une utilisation rationnelle et efficace des terres à des fins agricoles ou autres.

### Cultures et végétation

Evaluer les superficies cultivées, tant en termes généraux que par type de culture, percevoir les signes de dépérissement de la végétation et prévoir à temps le rendement des récoltes sont aujourd'hui des problèmes d'intérêt majeur en tous pays, même si les données de ce genre sont particulièrement difficiles à obtenir dans les pays en voie de développement. Les variations de la production agricole d'une année à l'autre imposent aux services de commercialisation et de secours des exigences lourdes, mais variables. Toute amélioration des prévisions ou de l'évaluation de la production agricole aura donc une immense portée.

En sylviculture, les besoins d'informations portent sur l'inventaire des forêts, le relevé des zones incendiées, la surveillance des abattages, et la détection des insectes nuisibles et des maladies. Pour les pâturages, les besoins recouvrent des inventaires des types de terrain, l'estimation de la biomasse et la surveillance de l'état des terrains de parcours. Faute de pouvoir recueillir en temps opportun ces données d'une façon complète et sûre, la plupart des

régions en voie de développement ont du mal à accroître leur production de protéines animales.

### Ressources minières

Les combustibles minéraux fossiles—pétrole, charbon et gaz—ont été prospectés et repérés dans de nombreuses régions en voie de développement. De vastes parties du monde demeurent toutefois inexplorées géologiquement parlant. Bien que les ressources minières constituent un atout d'importance vitale et une source majeure de recettes dans les échanges internationaux, il est fréquent que les pays en voie de développement n'aient pas à leur disposition les informations minérologiques détaillées recueillies par les sociétés étrangères dans le cadre de leurs activités d'extraction. Plus sûrs de leurs droits, ces pays veulent désormais avoir une meilleure connaissance non seulement des gisements déjà découverts et de l'étendue des réserves, mais également des zones pour lesquelles les études géologiques indiquent qu'une prospection a des chances de succès. Les études du terrain qui permettent d'identifier les formes géologiques, les failles, fractures et plis, les principaux types de roches et les anomalies géophysiques, sont un élément important de la cartographie géologique et de la prospection minière. C'est une première étape vers la réalisation d'un relevé minéralogique et une découverte des sites de prospection potentiels. La cartographie géologique à l'échelle des études de reconnaissance, disponible dans la plupart des régions, doit être suivie par des levés détaillés de zones choisies. Dans certains cas, l'étude des ressources en eaux souterraines nécessite également des formes particulières de cartographie géologique.

### Energie

En plus de la recherche de nouvelles sources d'énergie fossile pour faire face à la diminution des réserves mondiales en pétrole et à la brutale augmentation de son prix des dernières années, les pays en voie de développement poussent leurs investigations sur les sources d'énergie renouvelables, notamment géothermiques et hydro-électriques, lesquelles dépendent dans une large mesure de données géologiques et hydrologiques.

### Cartographie

S'il existe des cartes planimétriques à grande échelle pour la majorité du globe, de vastes parties des pays en voie de développement manquent toujours totalement d'une couverture thématique et topographique ou ne sont répertoriées que d'une façon inadaptée. Pour les objectifs de l'évaluation des res-

sources et de la planification nationale et régionale au sens large, les cartes à moyenne et petite échelle sont de première nécessité dans de nombreuses zones. Compte tenu de l'accroissement rapide de la population et de la progression des activités de développement, les responsables à tous les niveaux ont besoin périodiquement d'informations cartographiques actualisées, complétées de classifications détaillées. Ces informations leur sont nécessaires pour orienter leurs décisions sur les investissements dans l'agriculture, la mise en valeur de nouveaux terrains, le développement rural et urbain, l'implantation des réseaux de transport et autres grands travaux publics, ainsi que pour les objectifs courants de gestion et de conservation. Ils sont en outre de plus en plus conscients qu'il leur faut des cartes de l'occupation des sols pour répertorier leur affectation actuelle et réaliser une planification rationnelle des futurs schémas d'utilisation.

Certains champs d'observation sur lesquels des données sont recueillies ne varient pratiquement pas dans le temps (ils sont dits statiques), tandis que d'autres subissent une évolution continue ou se transforment de façon plus ou moins marquée (ils sont dits dynamiques). En excluant les modifications provoquées par des catastrophes naturelles telles que tremblements de terre ou éruptions volcaniques, ou par de grands travaux comme les barrages, on peut considérer la nature du terrain, y compris la géologie et la répartition des sols, comme une caractéristique virtuellement statique, et que l'actualisation des données de ce type n'a pas besoin d'être très fréquente.

Par contre, l'état des sols, des cultures, des forêts et des terrains de pâture, le comportement des eaux et les schémas d'occupation des sols sont soumis à des fluctuations constantes et nécessitent une surveillance ayant une périodicité variable pour que les informations à leur sujet soient effectivement utilisables. Dans certains cas, comme la prévision des crues, la lutte contre les inondations et l'évaluation des dommages, il est impératif que les données soient recueillies et analysées rapidement et que les informations obtenues atteignent sans délai les responsables.

## Facteurs influant sur les besoins en matière d'information

La nature, l'étendue, le volume et la rapidité de transmission d'informations sur les ressources dont un pays a besoin varient cas par cas. Il n'y a pas de relation directe entre le niveau de développement économique et le volume des informations nécessaires. Dans le cas de pays relativement évolués où les activités de développement sont importantes et variées et qui disposent de ressources en hommes et en capitaux à la hauteur, la variété des informations nécessaires sera complexe et leur volume très substantiel. Toutefois, les besoins en informations peuvent être également complexes et substantiels

dans des pays moins développés économiquement mais de grande superficie. Dans d'autres pays encore, les particularités du niveau du développement nécessiteront peut-être un flot d'informations beaucoup moins nourri.

Les facteurs régissant la nature, l'étendue et le dosage des informations qu'un pays devra vraisemblablement accumuler au sujet de ses ressources figurent en général dans la liste suivante :

- la superficie du pays, l'importance et la répartition géographique de sa population
- le degré de diversité et de complexité de sa géographie et de ses cultures ainsi que la nature de ses ressources potentielles
- le volume, la qualité et la disponibilité des informations déjà accumulées sur les ressources
- les objectifs et la stratégie de développement du pays, ainsi que ses priorités en matière d'investissements, facteurs qui sont généralement liés à une certaine connaissance de ses dotations en ressources
- le degré de détail et de spécificité exigé des données à recueillir : vues générales au niveau de la reconnaissance (cartes à grande échelle) d'un pays entier ou d'un large secteur, cartes plus ou moins détaillées de localités spécifiques où se concentrent des efforts de développement en cours
- la capacité du pays à assimiler les informations recueillies sur ses ressources et à les exploiter : facteur lié à la nature des structures institutionnelles actuelles du pays, à l'efficacité de ses gestionnaires, planificateurs et responsables politiques, et à l'existence de moyens scientifiques et techniques au service de sa politique
- l'utilité supposée, actuelle ou future, des données recueillies en termes de coûts de collecte : utilité à déterminer par le fait qu'elles sont indispensables pour une exploitation immédiate ou par leur valeur éventuelle si elles sont stockées dans une banque nationale des données sur les ressources en vue d'objectifs à longue échéance, par exemple pour contribuer à garder trace de l'évolution de l'environnement naturel, pour dégager de futures possibilités de développement et pour appuyer la recherche scientifique.

## Objectifs du développement et besoins en matière d'information : exemple de quatre pays

La combinaison des facteurs ci-dessus et des priorités que les dirigeants d'un pays fixent à ses options de développement permet de dégager le profil individuel des besoins de ce pays en matière de collecte des données sur les ressources et l'environnement. On trouvera ci-dessous une brève illustration des impératifs prioritaires de quatre pays ayant à faire face à des problèmes de développement différents :

### Iran

En Iran, la pluviométrie va de 50 mm par an sur le plateau aride à 1250 mm dans les régions montagneuses. Environ la moitié de la population vivant de l'agriculture et les quatre cinquièmes des terres arables dépendant de l'irrigation, la gestion des eaux joue un rôle vital dans les activités de développement de ce pays. Il dispose déjà d'une base substantielle d'informations sur ses ressources, mais elles tiennent pour une bonne part à des projets de développement antérieurs dans les domaines du pétrole, des gisements miniers, des transports, de la construction de barrages et de la réoccupation des terres. Les planificateurs du gouvernement iranien ont les besoins prioritaires suivants en matière d'information :

- cartographie géologique à l'échelle nationale pour l'hydrologie ainsi que pour la prospection minière
- recensement de l'occupation des sols et des capacités des terres pour l'agriculture
- délimitation et échantillonnage des zones forestières et des terrains de parcours
- surveillance des niveaux d'irrigation en matière de gestion des ressources en eau
- surveillance des cultures et de l'état des pâturages.

### Tanzanie

L'effort de développement économique de la Tanzanie porte pour une bonne part sur l'agriculture et l'élevage. Afin de décentraliser la prise de décisions en matière de développement et de rendre cet effort plus efficace, la Tanzanie a confié l'essentiel des responsabilités aux 22 régions du pays et à leurs administrateurs. Les principales catégories de données sur les ressources requises en Tanzanie sont liées à des besoins immédiats :

- occupation des sols et capacité des sols (répartition et type de végétation) afin de déterminer s'ils se prêtent à l'agriculture ou à l'élevage
- géologie structurelle et cartographie des eaux souterraines, établies en liaison avec les données sur les sols, les végétations et la topographie, pour mieux localiser les ressources en eau supplémentaires, pour augmenter l'efficacité des projets de puits et de captage des eaux, et pour choisir l'implantation de nouveaux villages
- surveillance du dépérissement des terres agricoles et pastorales en raison de la sécheresse ou des surpâturages afin de pouvoir réhabiliter ces ressources.

Il s'agit là de besoins interdépendants, mais ce pays ne dispose actuellement d'informations spécifiques que pour une ou deux des 22 régions.

### Venezuela

La topographie et l'écologie du Venezuela sont complexes ; sa population est entre 75 et 80 % urbaine. Les plans de développement du pays prévoient la poursuite de l'industrialisation, une prospection plus poussée des gisements pétroliers et miniers, l'amélioration de l'utilisation des sols et de la qualité de vie dans les zones urbanisées, la colonisation des zones frontières, un effort accru des investissements dans l'agriculture, notamment sous forme d'une assistance renforcée dans les zones de paupérisation rurale et de mise en irrigation de surfaces supplémentaires. Pour atteindre ces objectifs, l'effort de collecte de données du Venezuela met en valeur :

- l'utilisation des sols et l'évolution urbaine
- l'évaluation de la pollution des plages et des zones côtières
- une cartographie plus poussée des structures géologiques à l'appui de la prospection minière et de la localisation des projets de construction dans ce domaine
- la classification des sols et des types de végétation en zones agricoles exploitées et potentielles
- la détermination des surfaces cultivées et de l'évolution de l'état des cultures et pâturages
- la surveillance des inondations saisonnières de terres pour lesquelles on envisage de nouvelles implantations, un développement agricole ou une amélioration.

### Zaïre

Quoique le Zaïre soit riche en ressources minières, base de ses exportations, les trois-quarts de ses 23 millions d'habitants sont des ruraux dont l'existence dépend d'une agriculture sous-développée qui se déplace à mesure de l'épuisement des sols. Les principales possibilités de développement économique du pays résident dans les minerais, l'énergie hydro-électrique, l'agriculture et la sylviculture. Pour exploiter ses possibilités et planifier son développement, le Zaïre a besoin d'informations dans les domaines suivants :

- relevés photographiques à moyenne et petite échelle, avec interprétation thématique des données sur la géologie, l'hydrologie, les sols et la végétation pour seconder la prospection minière et la localisation des routes, voies ferrées et ports permettant d'acheminer vers les villes et les lieux d'embarquement les produits de l'agriculture, de la sylviculture et de l'exploitation minière
- informations hydrologiques pour le développement de l'énergie hydraulique, pour l'amélioration des terres agricoles et pâturages, et pour la gestion des transports fluviaux

- cartes sur la classification et les possibilités d'utilisation des sols pour contribuer à l'orientation du développement agricole
- classification et surveillance des steppes et savanes pour contribuer à l'amélioration de la production nationale de viande et produits laitiers actuellement importés
- recensement des variétés de bois durs dans les grandes forêts en vue d'un programme d'exportation de bois précieux et de conservation de la forêt.

Les moyens de recueillir des données sur les catégories de ressources qui viennent d'être étudiées et pour l'établissement de cartes se trouvent désormais dans un bon nombre de pays en voie de développement, avec toutefois de grandes différences quant à la qualité, au volume produit et à la répartition entre secteurs intéressés. On utilise l'avion dans quelques pays pour les levés de ressources, mais cette utilisation se limite généralement à des zones bien circonscrites et des projets bien définis. Rares sont les pays qui ont une couverture photographique générale et actualisée, plus rares encore ceux qui l'ont en films couleur ou infrarouge, avec l'élargissement de la gamme des données que cela représente. Dans la plupart des cas, l'utilisation de l'avion a été épisodique, dispersée, et bien en deça du rôle important que la détection aérienne peut jouer pour la collecte de données sur les ressources naturelles. La raison en est notamment que la plupart des pays ne disposaient pas en propre d'appareils équipés d'instruments de détection perfectionnés et le coût que représente l'heure de location auprès d'entreprises privées spécialisées dans les levés aériens.

## Le rôle de l'information sur les ressources et l'environnement

Pour les gouvernements et les agences de développement extérieures qui leur fournissent une assistance, les données d'inventaire des ressources et de surveillance de l'environnement se prêtent à plusieurs objets : planification et gestion des ressources nationales, études de planification physique et de faisabilité des projets, solution des problèmes liés à l'environnement. Les types d'information nécessaires pour ces différents objectifs varieront souvent quant au degré de détail, à l'étendue des zones observées et à la forme d'exploitation, temps quasi réel ou différé.

### Planification et gestion nationales des ressources

L'expérience montre que les informations sur les ressources n'entrent généralement que de façon indirecte dans l'analyse économique et les formulations de plans des pays qui procèdent à une planification centrale au niveau

national. Traditionnellement soucieuses de répartition des ressources financières, les autorités responsables de ce planning tendent à baser leurs calculs sur de grandes variables économiques, financières et démographiques. Les informations détaillées sur les ressources sont exploitées à des niveaux inférieurs sous l'égide soit des organismes de collecte des données, soit des services cartographiques responsables des levés géologiques, de la cartographie ou du recensement des sols, et réapparaissent généralement sous l'habit de projets de développement en bloc qui entrent dans la structure d'un plan national.

Les raisons en sont multiples. Premièrement, il existe en général un manque de coordination entre les planificateurs physiques d'une part et les planificateurs économiques d'autre part. Ils ont été formés dans des disciplines universitaires différentes et tendent à appliquer leur savoir à des ensembles de problèmes différents, à des niveaux du processus de planification qui ne sont pas les mêmes. Les planificateurs physiques se préoccupent de l'existence, de l'emplacement, de l'importance, et de la qualité de ressources se prêtant ou non à une exploitation, tandis que les planificateurs économiques centrent leurs efforts sur les impératifs des ressources fiscales et sur les revenus que peuvent produire leur exploitation. De plus, le spécialiste des ressources s'occupe d'observation et de classification des systèmes géologiques, de végétation ou de sol, tandis que l'utilisateur des informations dans le cadre de la planification s'intéresse aux questions de répartition des ressources. Ces deux groupes n'ont ni vocabulaire ni cadre de réference communs.

Deuxièmement, nombre d'économistes n'ont pas encore pris conscience des progrès notables en quantité et en qualité des informations géographiques et thématiques sur les ressources dont on dispose actuellement du fait de l'utilisation des nouvelles technologies de collecte des données.

Troisièmement, les plans économiques portent sur cinq à dix ans et se concentrent donc sur l'équilibre des flux de ressources et de biens, plutôt que sur les réserves.

Il n'existe pas à ce jour de structure comptable menant à des bilans des ressources naturelles, à comparer au cadre des comptabilités nationales. (C'est seulement à une date relativement récente que les données démographiques ont été introduites dans le cadre des comptabilités nationales sous forme d'ensembles de comptes économico-démographiques intégrés.) Dans la plupart des systèmes politiques, les planificateurs centraux au niveau national ne se sont pas attachés à planifier l'utilisation de l'espace ; cela reste du domaine des responsables de projets d'aménagement.

Les responsabilités de la gestion des ressources incombent normalement à des ministères spécialisés et à des services techniques qui rassemblent des données utiles à la poursuite de leur mission, souvent sans beaucoup de coordination au jour le jour avec les priorités du programme de développement.

On connaît des exemples de programmes de levés topographiques qui produisent régulièrement des cartes de zones à peuplement clairsemé tandis que les régions les plus peuplées du pays sont insuffisamment cartographiées.

Dans les pays en voie de développement les plus étendus et les plus évolués, avec de nombreux ministères et services spécialisés, il n'est pas exclu que des données sur les ressources naturelles soient recueillies séparément et individuellement par de multiples organismes : un ministère de l'agriculture, disposant ou non de services de pédologie, de botanique, de sylviculture, d'élevage et de recherche agricole générale ; un institut géologique, comportant quelquefois un service hydrologique et un bureau des mines ; un service météorologique ; et un service général de cartographie. Un pays maritime pourra avoir en plus un service chargé des côtes et un département de l'océanographie et de la pêche. Les pays plus pauvres, dont l'apparente richesse résidera souvent dans un ou deux produits pour l'essentiel, auront vraisemblablement des services beaucoup moins nombreux tout en conservant un ministère pour le seul élevage.

Quelques pays ont commencé à reconnaître qu'il est intéressant d'aborder comme un tout la gestion des ressources et ont donc institué des services centralisés (à l'échelon superministériel) chargés de la collecte et de l'analyse des données sur les ressources ainsi que du planning, et qui regroupent les traditionnelles unités de collecte des données. Mais cette innovation demeure rare dans les pays en voie de développement comme dans les pays industrialisés ; dans la plupart des cas, la collecte et l'utilisation des données sur les ressources sont le reflet d'un compartimentage traditionnel.

Parce que les planificateurs centraux ne l'ont pas exigé, parce que les préoccupations de chapelle des services sectoriels de collecte des données sont allées à son encontre, bien peu d'efforts ou d'encouragements ont été prodigués pour dégager dans chaque pays une représentation intégrée, exhaustive et facilement accessible des ressources fondamentales en tant que mécanisme de prise de décisions pour le développement national. L'apparition d'une technologie qui peut servir à la fois de nouveau moyen de collecte, de gestion et de présentation des données (et qui fait l'objet du présent rapport) peut entraîner à long terme une évolution significative des méthodes de planification.

### Préparation de projets

La formulation et l'exécution d'un projet de développement déterminé imposent généralement des impératifs extrêmement stricts quant aux informations sur les ressources naturelles et l'environnement. Cela est particulièrement vrai des projets répondant aux critères des organismes de financement internationaux. L'importance des projets varie dans de fortes proportions : programme de développement d'un bassin fluvial pour alimenter

une vaste zone irriguée ; utilisation de ressources hydrologiques pour l'énergie et le développement industriel ; ouverture de nouvelles surfaces à la culture et au peuplement ; construction d'un réseau de transport ; exploitation d'un gisement minier ; ou projet de développement rural.

Dans le cas de projets intéressant une zone géographique bien délimitée, il faudra par exemple des séries imbriquées de données commençant par un survol général et se terminant par des données plus spécifiques aux lieux et couvrant toute la gamme des ressources et des facteurs qui ont des incidences sur l'environnement. Il faudra répondre à des questions comme : Quel est le schéma d'utilisation des terres dans la région ? Quels sont les terrains, les types de sols et les possibilités des terres ? Quelles sont les caractéristiques géologiques touchant le projet ? Quelles sont les meilleures voies pour les transports et autres infrastructures dans la région ? Comment se présentent la végétation, l'érosion, l'écoulement des eaux et les types de culture ? Quelles seront les incidences du projet sur les régions environnantes ?

Pour beaucoup de pays en voie de développement, la collecte de données axée sur la préparation d'un projet spécifique a plus d'importance immédiate qu'une étude à l'échelle de la nation. Les données nécessaires peuvent être définies plus facilement pour des objectifs à court terme clairement délimités ; elles peuvent se circonscrire au cadre géographique du projet et à la durée du programme. Une équipe de techniciens de différentes disciplines collaborant à un projet est bien placée pour raccorder les unes aux autres des séries de données. L'utilisation intégrée des informations sur les ressources pourra se faire tout naturellement lors de la conception et de l'exécution d'un projet de développement régional, même dans les pays où de telles informations sont encore fragmentaires à l'échelon national.

Les agences internationales d'aide au développement qui doivent fonder des décisions justifiables sur des études bien documentées de faisabilité, de conception et d'exécution des projets ont été un important stimulant pour cette méthodologie. Par exemple, la Banque mondiale demande qu'on lui fournisse des données circonstanciées non seulement au cours des stades préparatoires des projets, mais également pour la supervision et l'évaluation. La préparation des projets patronnés par l'AID doit désormais comporter une évaluation des incidences sur l'environnement du même type que celle qui est exigée pour les projets nationaux aux Etats-Unis, ainsi qu'un exposé des incidences sociales.

### Surveillance de l'environnement et solution des problèmes écologiques

La nécessité d'assurer une continuité dans la collecte des données et, dans certains cas, de les traiter et de les analyser très rapidement, s'est manifestée plus clairement au cours des dernières années à mesure que l'on comprenait mieux l'incidence des facteurs écologiques sur le processus de développement

et sur le bien-être de l'homme. La nouvelle optique mondiale des relations entre environnement et développement–cristallisée en 1972 à Stockholm lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et tragiquement éclairée par les conséquences de la sécheresse de 1973-1974, notamment dans le Sahel–ont attiré l'attention des spécialistes sur la vulnérabilité de vastes régions à la détérioration écologique et sur les pertes massives de productivité qui en résultent.

Dans les pays industrialisés comme dans les pays en voie de développement, on prend de plus en plus conscience de la nécessité de surveiller les systèmes naturels (forêts, terres arides, zones montagneuses par exemple) tant pour prévoir les désastres naturels et causés par l'homme que pour pallier leurs conséquences. Certaines calamités sont à évolution lente, par exemple l'érosion des sols, la latérisation, la formation de marécages, la progression des déserts ; d'autres sont soudaines, brèves et moins prévisibles, comme les tremblements de terre, inondations, incendies de forêts et invasions d'insectes. Une action scientifique à l'échelle du globe, "Earthwatch", placée sous les auspices du programme des Nations Unies pour l'environnement, s'efforce actuellement de parvenir à une meilleure connaissance de certains de ces processus écologiques ; pour qu'elle se poursuive, il lui faudra recueillir régulièrement et systématiquement des données dans toutes les parties du monde sur une échelle jamais envisagée à ce jour.

Un comité de l'Académie nationale des sciences a recommandé d'entreprendre, dans le cadre du système de surveillance "Earthwatch", un travail de cartographie en vue de détecter les modifications dans certaines classifications de terrain et d'évaluer les problèmes critiques résultant de procédés de culture et de pratiques d'utilisation des terres. Dans la classification recommandée pour ce travail figurent les zones urbaines, les régions en voie de désertification, les régions forestières et les zones de déboisement, les zones côtières, les terres agricoles irriguées ou non, les terres en péril, les zones de permafrost, les hautes terres humides et les grandes exploitations minières à ciel ouvert.[2]

## Intégration des informations sur les ressources et l'environnement

La planification et la gestion des ressources à l'échelle d'un pays nécessitera de plus en plus dans l'avenir une vue d'ensemble intégrée des différents types de données nationales, rassemblées par des organismes différents, par des moyens différents, à des échelles différentes, et ayant trait à des secteurs des ressources et des phénomènes écologiques différents. Cette intégration "horizontale" aura dans une certaine mesure pour support des organismes structurés, tels que offices nationaux de recensement et de planification des ressources, qui seront mandatés pour aborder dans leur ensemble l'analyse des ressources et l'élaboration des décisions.

Il existe également un type "vertical" d'intégration des données dont on commence à mieux connaître le besoin. Un grand nombre d'informations précieuses sur les ressources locales et les processus écologiques sont à recueillir dans l'expérience, essentiellement orale, des gens qui travaillent dans les provinces et les villages : administrateurs locaux, techniciens de terrain, villageois bien informés. Une masse de connaissances expérimentales sur les sols, les récoltes, la végétation, les ressources en eau, dorment dans les mémoires des agriculteurs et des pasteurs. Les données sur les ressources servant de base au développement seraient utilement enrichies si la connaissance technique des premiers et les renseignements ethnoscientifiques des seconds venaient compléter les données systématiques recueillies par les enquêteurs scientifiques.

Ce serait toutefois une erreur d'envisager la collecte des données sur les ressources et l'environnement du seul point de vue des besoins individuels des pays. Les agences régionales, mandatées pour des missions variées, se livrent à la collecte et à l'analyse des données pour répondre aux besoins de la coopération internationale en matière de développement et de gestion des ressources. Les grands projets de développement, pour la prévention des inondations, l'irrigation, la production d'énergie couvrent fréquemment plusieurs pays. De plus, ce qu'un pays fait pour développer ses propres ressources et ce qu'un autre n'est pas en mesure de faire, face à une dégradation écologique, peut être lourd de conséquences au-delà des frontières nationales.

Les préoccupations récentes au sujet des ressources alimentaires mondiales ont souligné le besoin de développer puissamment l'action internationale en vue d'accroître la production agricole et d'étudier systématiquement à l'échelle du globe les caractéristiques des ressources agricoles et connexes. Un tel travail ne serait que le dernier d'une longue série de programmes intergouvernementaux de collecte de données, menés pour la plupart sous les auspices des agences spécialisées des Nations Unies, dans des domaines comme l'hydrologie, la géologie, la météorologie, l'océanographie, la biologie et l'environnement. Dans un monde toujours plus complexe, où des populations en expansion veulent collectivement tirer davantage des ressources de la Terre, il y a encore beaucoup à apprendre sur ces ressources et il faudra, pour les conserver et les gérer, faire appel à de nouvelles compétences locales, régionales et universelles.

## Notes

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, *Natural Resources of Developing Countries : Investigation, Development and Rational Utilization . Report of the Advisory Committee on the Application of Science and Technology to Development* (E/4608/Rev. 1 ST/ECA/122), 1970, p. 7.
2. National Academy of Sciences, Commission on Natural Resources, *Early Action on the Global Environmental Monitoring System : Report of the International Environmental Programs Committee* (Washington, D.C., 1976), pp. 16-18.

# III. Technologie de la télédétection spatiale

## Historique

C'est d'abord à l'invention de la photographie, puis à celle de l'avion que l'on doit les principaux progrès dans la collecte de données sur les ressources de la Terre, ces observations intéressant de vastes étendues et étant prises d'une distance considérable. Bien que la photographie aérienne se soit développée et perfectionnée à des fins militaires au cours des deux guerres mondiales, on a commencé à l'utiliser voilà une cinquantaine d'années pour obtenir des données visuelles nécessaires pour une large gamme d'objectifs pacifiques : agriculture, sylviculture, hydrologie, géologie, cartographie, occupation des sols et aménagement du territoire, évaluation des catastrophes naturelles.

Les contributions de la photographie et de l'avion au travail de collecte des données sur la Terre et ses ressources sont loin d'être épuisées ; ces techniques ont encore des fonctions extrêment précieuses à remplir. Mais, face à l'énorme accroissement des besoins en informations détaillées sur les ressources de la Terre, la photographie directe et l'avion sont limités dans leurs moyens.

Pour nombre d'objectifs importants des données sur les ressources, en particulier ceux qui ont trait à la végétation, à l'eau, à la géologie et à la prospection minière, la gamme dynamique de la pellicule photographique classique est trop étroite pour pouvoir mesurer d'autres paramètres physiques nécessaires, comme la température, le magnétisme, l'humidité ou la teneur en chlorophylle. C'est pourquoi les avions ont été équipés ces dernières années d'instruments de détection, tels que radars, magnétomètres, compteurs à scintillation, chambres photographiques dans l'infrarouge et analyseurs à balayage multibandes, afin de recueillir des données qui complètent celles que fournit la pellicule photographique classique.

Quels que soient ses nombreux avantages, l'utilisation de l'avion comme plate-forme d'observation est limitée par la surface qu'il peut couvrir avec un seul cliché, par les coûts qu'il occasionne lorsqu'il s'agit de couvrir de très vastes zones, et par le degré d'uniformité qu'il permet d'obtenir, soit en couverture répétitive de la même scène à différents moments, soit en couverture

de scènes différentes à la même heure solaire (autrement dit sous le même angle d'incidence solaire).

Lors de l'apparition des programmes spatiaux, le satellite en orbite s'est révélé l'un des moyens possibles de franchir ces limites et de fournir des plates-formes précieuses pour les détecteurs et chambres de collecte de données. La combinaison des nouveaux types de détecteurs et d'une plate-forme spatiale a fourni la preuve qu'elle était bien plus qu'un prolongement à haute altitude de la photographie aérienne. La télédétection spatiale constitue un grand progrès technologique pour la collecte de données sur les ressources de la Terre.

L'enregistrement d'observations de la surface terrestre par un véhicule spatial en orbite a débuté en 1960 avec le premier satellite météorologique américain, TIROS-1. Les clichés pris par les astronautes des vols Gemini et Apollo ont mieux fait connaître l'utilité potentielle de la photographie spatiale. Mais les expériences les plus significatives en matière de télédétection des ressources terrestres ont eu pour origine le lancement du premier satellite technologique de ressources terrestres (LANDSAT-1) en juillet 1972 et la mise en place d'ensembles de détecteurs lors des trois missions du satellite habité SKYLAB en 1973 et 1974.

Le matériel expérimental de détection embarqué sur le SKYLAB, parcourant une orbite terrestre de 425 km d'altitude, réunissait la photographie traditionnelle, la photographie dans le proche infrarouge, un analyseur multibande à 13 canaux et des détecteurs hyperfréquences. Ces appareils ont fourni des données qui devaient être utiles pour concevoir les futurs systèmes de télédétection. La chambre de prises de vues terrestres (S190-B) présente un intérêt particulier car elle permettait de prendre des photographies avec une résolution au sol estimée de 17 à 30 mètres sur de la pellicule noir et blanc à haute définition et sur 3 types de pellicules couleur. Chaque image couvrait un carré de 109 km de côté ; environ 10 % des Etats-Unis, 5 % de l'Amérique du Sud et des surfaces moindres d'autres régions ont pu ainsi être observées. Les clichés obtenus, diffusés parmi les scientifiques intéressés et spécialistes des ressources naturelles dans le monde entier, ont apporté une preuve frappante de l'efficacité de la photographie spatiale à haute résolution dans le visible, notamment pour la cartographie et l'inventaire de l'utilisation des terres.

## Le secteur spatial du LANDSAT

Depuis 1975, deux satellites expérimentaux LANDSAT tournent autour du globe en observant la surface de la Terre et en transmettant aux stations de réception au sol les données recueillies par leurs détecteurs (Figure 1). L'Administration américaine de l'aéronautique et de l'espace (NASA) a mis

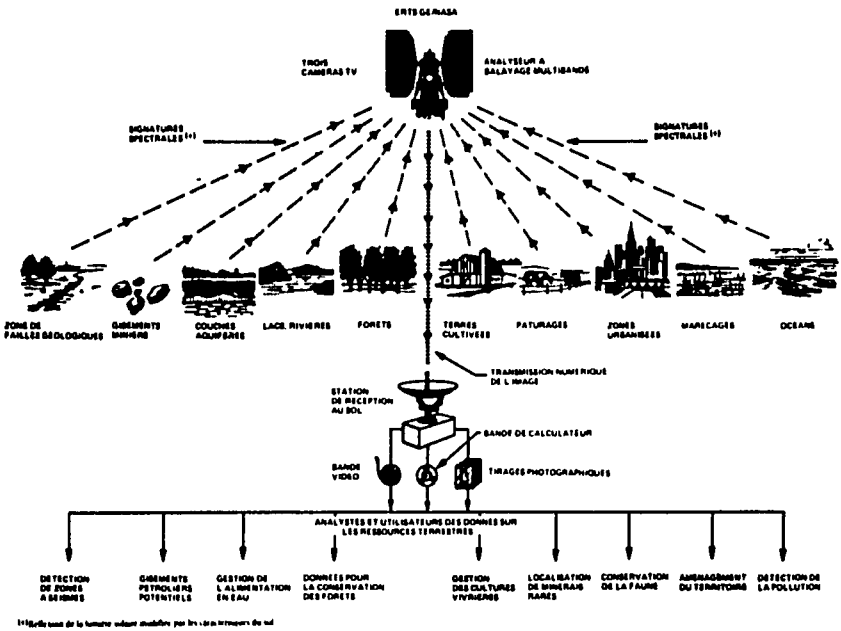



FIGURE 1 Caractéristiques du sol types enregistrées via LANDSAT et transmission des données pour utilisation finale par les responsables de la gestion des ressources. Source : Louis F. Slee and Jesse Dean Perkinson, "Via Satellite," *Americas* 28(1) : 30 (janvier 1976). (Crédit : General Electric Space Division).

le LANDSAT 2 sur orbite en janvier 1975 pour assurer la continuité de l'information après que les équipements du premier satellite cesseraient de recueillir toutes les données souhaitées et pour compléter la couverture du LANDSAT 1 tant que les détecteurs de celui-ci continuaient de fonctionner. Comme les LANDSAT sont les premiers satellites américains voués exclusivement à la détection des ressources terrestres, on trouvera ci-après une brève description de leurs caractéristiques techniques et de leur fonctionnement.*

## Plate-forme et orbite du satellite

Le LANDSAT est un véhicule spatial de 950 kg, de 3 m de haut et 4 m d'envergure lorsque ses 2 panneaux solaires indépendants sont déployés (Figure 2). Les réseaux solaires, reliés à des batteries d'accumulateurs, fournissent l'énergie nécessaire au matériel de commande, de détection, d'enregistrement et de transmission à bord du satellite. Les batteries sont nécessaires pour

*Les informations techniques contenues dans le présent chapitre sont tirées pour l'essentiel du *Manuel de télédétection* de la Société américaine de photogrammétrie[1] et du *Manuel de référence ERTS* de la General Electric, Space Division[2].

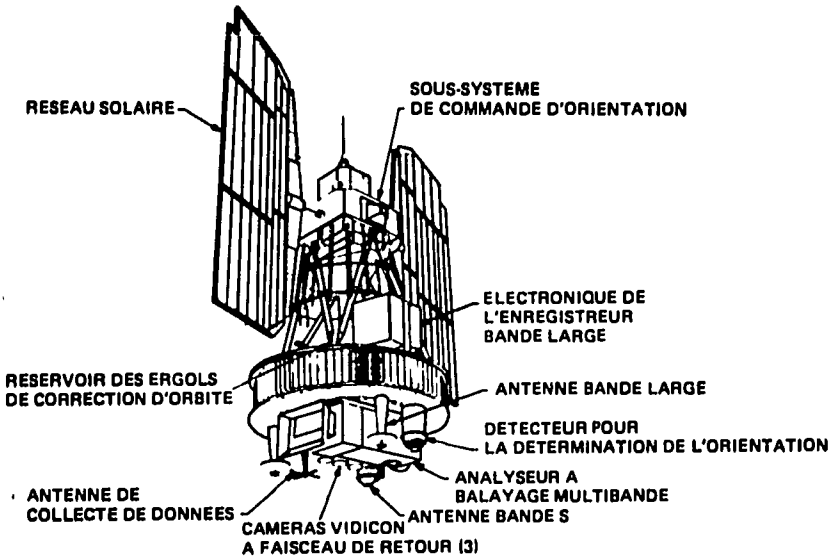



FIGURE 2 Configuration du véhicule spatial LANDSAT montrant ses sous-systèmes. Source : NASA/GSFC[3]

les périodes pendant lesquelles le satellite se trouve dans le cône d'ombre de la Terre.

Le satellite décrit une orbite circulaire, quasi polaire à une altitude d'environ 920 km et coupe le plan de l'Equateur sous un angle de 99°. Il parcourt 14 orbites par jour (103 minutes par orbite) et passe à nouveau sur tout point de la surface de la Terre vers 09.30 h, heure locale, tous les 18 jours (Figure 3). Cette régularité des heures de passage en orbite héliosynchrone se traduit par l'uniformité des données et une simplification de leur interprétation.

Les 14 bandes de la surface terrestre survolées chaque jour par le LANDSAT sont décalées de 2800 km au niveau de l'Equateur. A chaque passage du satellite, la bande observée par les détecteurs est de 185 km de large. Le lendemain, le satellite passe au-dessus d'un point situé à l'Equateur 170 km à l'ouest de sa trace de la veille et observe une bande contiguë de 185 km de large également. Il existe donc un chevauchement des traces de 14 % au niveau de l'Equateur, si bien qu'au moins 15 km du bord de chaque bande sont toujours observés deux fois à 24 h d'intervalle dans chaque cycle de 18 jours. Ce chevauchement des images augmente avec la latitude pour atteindre 19 % à 20° et 34 % à 40°. Ce chevauchement a pour avantage important de doubler les chances d'obtenir une image sans couverture nuageuse sur une période de deux jours.

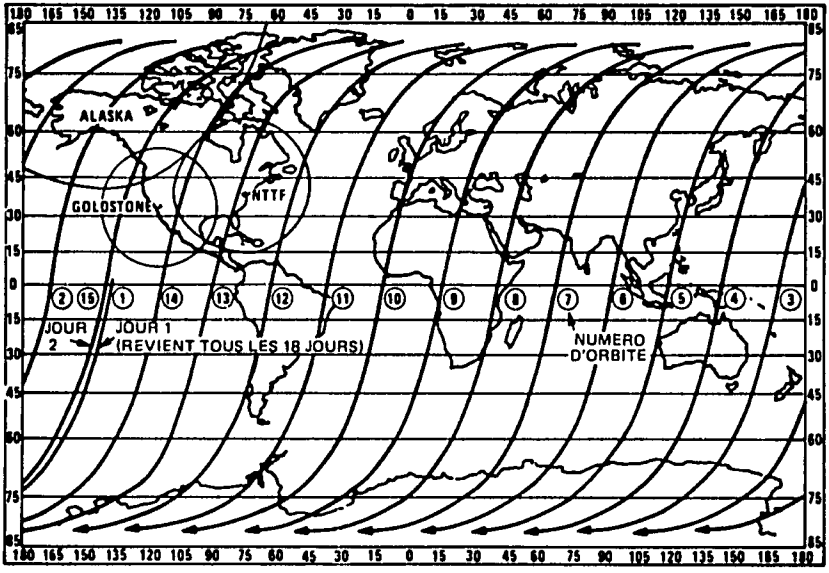



FIGURE 3 Trace au sol type (lumière du jour) du satellite LANDSAT. Source : NASA/GSFC[4]

Le moment du lancement de LANDSAT 2 a été choisi de façon à faire passer à 9 jours le cycle d'observation du système tant que LANDSAT 1 continue de fonctionner.

**Les détecteurs**

L'ensemble d'instruments des LANDSAT 1 et 2 se compose de deux systèmes détecteurs, un analyseur à balayage multibande (MSS) et trois chambres Vidicon à faisceau de retour (RBV), complétés par deux récepteurs du système de collecte de données (DCS) et deux enregistreurs sur bande vidéo.

Le MSS est un radiomètre quatre canaux qui balaye la surface de la Terre et enregistre l'intensité de l'énergie réfléchie par des particularités et objets de la surface terrestre. Il travaille simultanément dans quatre bandes de fréquence distinctes du spectre électromagnétique.

Tous les objets, vivants ou inanimés, réfléchissent, absorbent, émettent ou rayonnent de l'énergie électromagnétique sous forme d'ondes ou de radiations. L'énergie rayonnée ou réfléchie peut être caractérisée par sa longueur d'onde (distance entre deux crêtes d'une onde) ; l'éventail des longueurs d'onde va d'une dimension inférieure à celle d'un atome à plusieurs centaines

de kilomètres. L'oeil humain ne perçoit que les rayonnements d'une petite région (la région visible) du spectre électromagnétique. Les principales régions du spectre, dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes sont : radiofréquences (y compris les hyperfréquences), infrarouge, visible, ultraviolet, rayonnement X et rayonnement gamma (Figure 4).

Les détecteurs du LANDSAT sont sensibles aux rayonnements dans la région visible et une partie des régions infrarouges du spectre, autrement dit aux ondes ayant une longueur de l'ordre du millionième de mètre, ou micron (μm).

Tout objet bombardé par le soleil, dont les rayons couvrent une large gamme de longueurs d'onde, réfléchit ou réémet en différentes proportions chaque longueur d'onde reçue. Les propriétés physiques de l'objet lui-même déterminent dans quelle mesure le rayonnement solaire est réfléchi dans chaque longueur d'onde, et donc la répartion spectrale du rayonnement qu'il réfléchit. C'est cette énergie réfléchie, avec sa répartition spectrale particulière à chaque objet (dénommée signature spectrale de l'objet), qui est observée sélectivement par le MSS dans quatre petites portions ou bandes du spectre électromagnétique. L'utilisation de bandes spectrales multiples augmente la possibilité d'identifier ou de classer les éléments caractéristiques au sol.

Les deux détecteurs du LANDSAT, le RBV et le MSS, travaillent dans sept bandes des portions visible (0,4 à 0,7 μm) et proche infrarouge (0,7 à 1,1 μm) du spectre. (Le proche infrarouge est la partie de l'infrarouge la plus proche de la région visible). Les trois bandes utilisées par le RBV (bandes 1, 2 et 3) couvrent des parties du spectre qui sont également exploitées par le MSS (bandes 4 à 7).

Dans les deux instruments, les éléments sensibles dans chaque bande réagissent différemment aux signaux provenant des traits caractéristiques de la surface terrestre. Voici quelles sont les quatre bandes de fréquence du MSS et des exemples des caractéristiques auxquelles elles sont particulièrement sensibles :

La bande 4 (0,5 à 0,6 μm), dans la région visible du spectre, est la plus capable, parmi les quatre bandes, de pénétrer dans l'eau et de déterminer la turbidité des masses d'eau, de distinguer la végétation verte des autres couvertures de surface et de déceler les structures géologiques.

La bande 5 (0,6 à 0,7 μm), également dans la partie visible du spectre, est précieuse pour définir les caractéristiques topographiques et agricoles ainsi que pour classer les différents types de végétation verte sur un fond entièrement couvert.

La bande 6 (0,7 à 0,8 μm), à cheval sur la limite des régions visible et proche infrarouge du spectre, est particulièrement propre à déceler les différences dans l'occupation des sols et à détecter la quantité de biomasse verte dans la végétation.

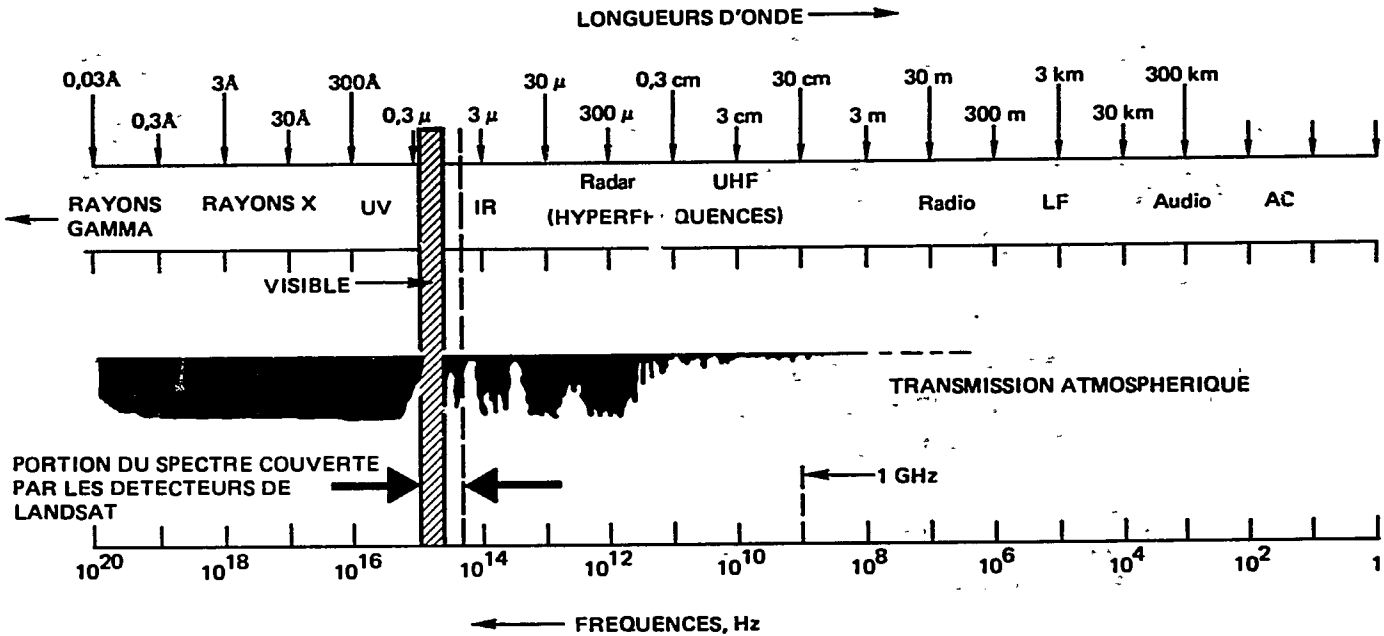



FIGURE 4 Le spectre électromagnétique. Les détecteurs embarqués sur les LANDSAT 1 et 2 travaillent dans les portions visible (zone hachurée) et proche infrarouge (IR) du spectre.

La bande 7 (0,8 à 1,1 μm), dans la région proche infrarouge, délimite efficacement les frontières terre-eau et les contrastes sols-cultures.

A chaque bande du MSS sont couplés six détecteurs qui ont pour fonction de recevoir, via un mécanisme à balayage, l'énergie réfléchie par les caractéristiques du sol, et de convertir ce rayonnement en signaux électriques qui peuvent être enregistrés sur bande magnétique à bord du satellite ou retransmis vers la Terre.

Le dispositif de balayage du MSS, un miroir incliné à 45° par rapport à la Terre, pivote sur quelque 2,9 degrés et balaye d'est en ouest la surface terrestre dans les limites de la trace nord sud de 185 kilomètres correspondant à chaque passage du LANDSAT (Figure 5). A chaque balayage, le miroir pivotant reçoit les signaux du rayonnement réfléchi provenant de six lignes parallèles du "paysage" et les reflète via une paire de miroirs fixes et un faisceau de fibres optiques sur les détecteurs, les signaux de chaque ligne géographique balayée étant dirigés sur l'un des six détecteurs dans chacune des quatre bandes spectrales. Lorsque le miroir revient à sa position initiale, le satellite a progressé d'environ 474 m.

Chaque ligne continue de signaux reçue par le miroir oscillant est divisée en 3200 signaux distincts, chacun de ceux-ci étant sélectionné par l'une des fibres optiques du MSS et transmise à l'un des détecteurs dans chacune des bandes spectrales. Ces signaux individuels, traduits par le détecteur en signaux électriques aptes à être transmis au sol, sont finalement reproduits dans l'image LANDSAT sous forme de 1 "élément d'image", ou "pixel", représentant une superficie d'environ 80 m de côté de la surface terrestre. En d'autres termes, les caractéristiques du sol ou objets de moins de 80 m au carré ont peu de chance d'être détectés par les instruments actuels du LANDSAT.

Ce qui distingue un signal rayonné d'un autre lorsqu'il atteint chacun des détecteurs, c'est son niveau d'intensité. Chaque carré de 80 m de côté de la surface terrestre contient un certain nombre d'éléments dont les longueurs d'onde varient. Certains pixels, ayant trait par exemple aux océans, aux forêts, aux déserts ou aux champs de blé, auront une très grande uniformité. D'autres, dans les régions côtières, les zones suburbaines, les régions de polyculture par exemple, pourront être de composition très variée. Selon la nature de chaque carré de 80 m de côté et les longueurs d'onde réfléchies par ses différents composants, le degré d'intensité du signal composite qui en émane sera plus fort ou plus faible en atteignant chaque détecteur. Du fait des différences de sensibilité des quatre bandes du MSS aux différentes longueurs d'onde représentées dans chaque signal, le degré d'intensité de ce signal sera perçu et enregistré différemment dans chacune des quatre bandes. La gamme complète des intensités perçues par les détecteurs du MSS sur les LANDSAT 1 et 2 peut être transmise au sol selon 64 degrés d'intensité distincts.

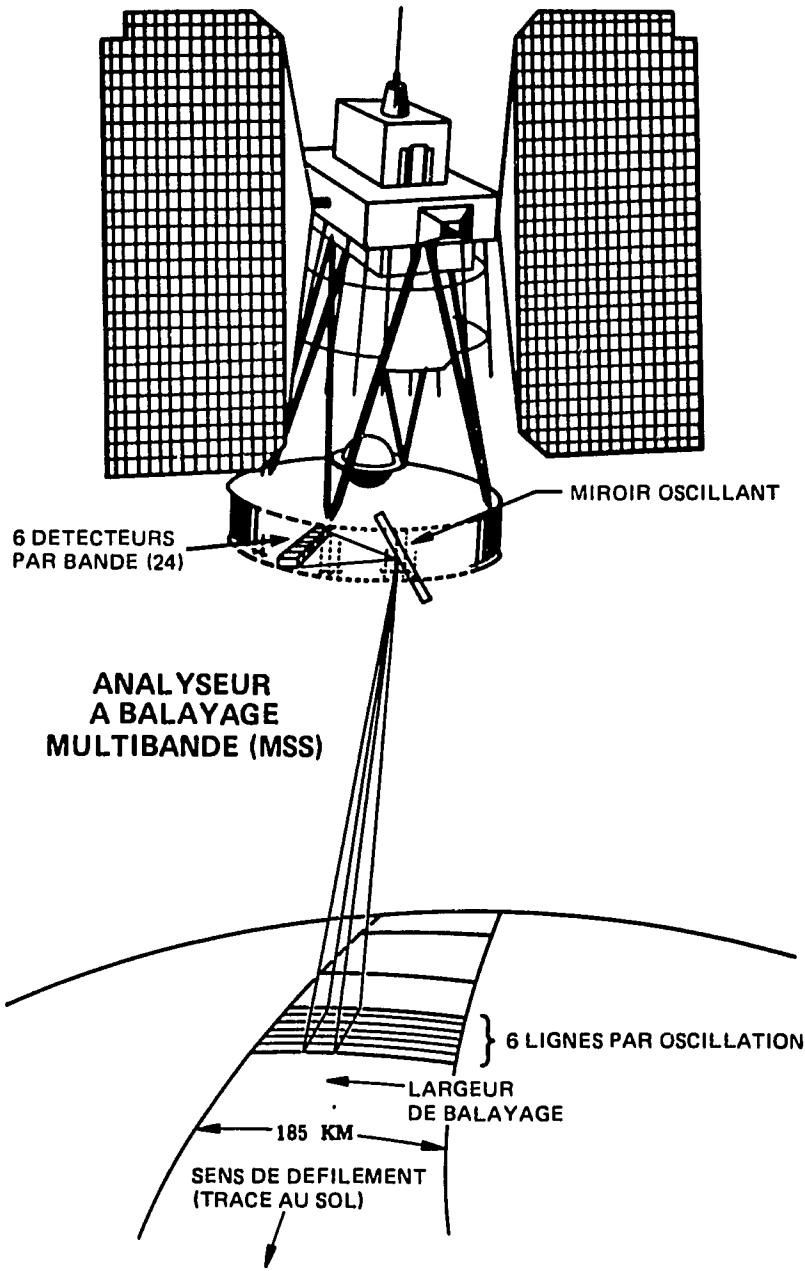



FIGURE 5 Principe de l'analyseur à balayage multibande. Source : NASA/GSFC

C'est l'enregistrement et l'analyse de ces différents niveaux d'intensité et leur identification à des caractéristiques et à des zones du sol qui constituent la base de la télédétection des ressources terrestres.

Les caméras RBV fonctionnent selon un principe différent. Trois caméras de télévision photographient simulanément la même portion de la surface terrestre dans les trois bandes spectrales suivantes :

| | |
|---|---|
| Bande 1 (verte) | 0,46 à 0,60 μm |
| Bande 2 (rouge) | 0,57 à 0,68 μm |
| Bande 3 (proche infrarouge) | 0,66 à 0,82 μm |

En service, les caméras photographient une zone de 185 km de côté toutes les 25 secondes. Le satellite ne parcourant qu'environ 165 km en 25 secondes, chaque "scène" de 185 km de carré chevauche de 18,5 km la scène suivante (Figure 6). Comme chaque image de télévision compte 4125 lignes et que les caméras ont une vitesse de balayage relativement lente de 1250 lignes par seconde, il leur faut 3,3 secondes pour "lire" chaque scène. Chaque ligne de l'image obtenue compte 4000 éléments.

Pendant les premières orbites du LANDSAT 1, le système RBV a fourni des données d'excellente qualité. Mais à la suite de la défaillance d'un circuit sur le premier satellite de ressources terrestres dans les semaines qui ont suivi son lancement, le RBV a cessé de fonctionner et les travaux de recherche expérimentale ont dû se concentrer exclusivement sur le MSS. Bien que le RBV du LANDSAT 2 soit en ordre de marche, il a été mis en route essentiellement afin d'essayer le matériel et est maintenu en réserve pour d'éventuelles utilisations spéciales ou de secours.

### Le système de collecte de données (DCS)

Outre leurs fonctions de détection, les LANDSAT servent de satellites de télécommunications et relayent en direction de stations centrales de réception les données hydrologiques, météorologiques, sismographiques et autres informations sur l'environnement provenant de plates-formes automatiques de collecte de données installées sur la Terre dans des régions isolées. Ces plates-formes terrestres ont pour fonction de fournir en permanence des mesures *in situ* de phénomènes tels que le niveau des eaux, le débit des fleuves, la marée, les précipitations, la hauteur de la neige, la température ou le volcanisme (voir Tableau 5 du Chapitre V) dans des régions où il est difficile ou coûteux de faire des observations directes. Ces plates-formes sont situées dans des régions peu fréquentées sur terre ou sur les eaux et peuvent avoir jusqu'à huit dispositifs de détection. Ces données codées sont émises en rafales à la demande ou de façon aléatoire lors du survol d'un satellite. Le satellite enregistre ces

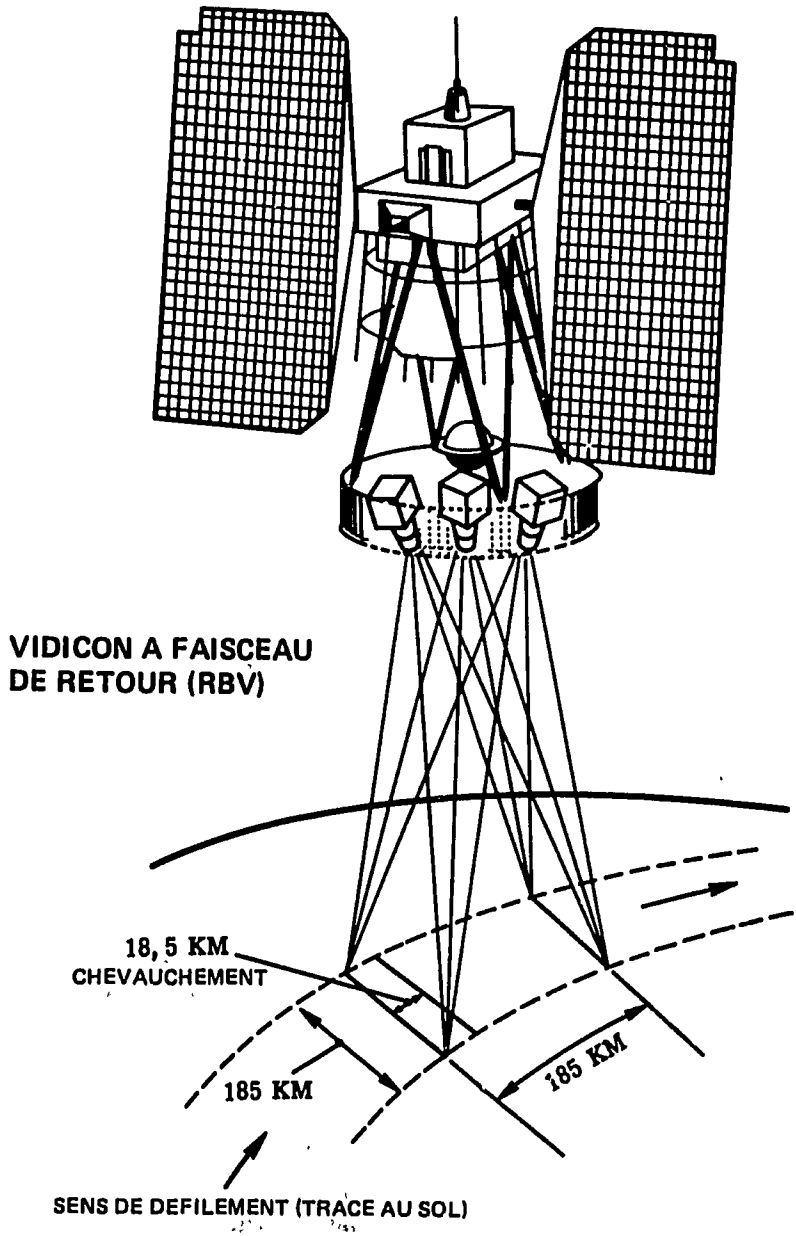



FIGURE 6 Principe du balayage des caméras RBV. Source : NASA/GSFC.

données avant de les "déverser" en direction d'une station appropriée ou les relaye instantanément aux terminaux locaux des utilisateurs.

### Télémesure des données de satellite

Deux enregistreurs sur bande vidéo bande large (WVTR) ont été embarqués sur chacun des LANDSAT pour emmagasiner les données recueillies au-dessus de zones hors de la portée des stations de réception de façon à pouvoir réémettre ou "déverser" ces données lorsque le satellite est à portée d'une station de réception. Avant l'établissement d'une station au sol en Italie, toutes les données LANDSAT provenant de l'hémisphère oriental étaient enregistrées en vue d'une transmission ultérieure, généralement au cours des heures de nuit, vers les trois stations américaines. Chaque WVTR a une capacité d'enregistrement de 210 minutes et peut traiter indifféremment les données des MSS ou des RBV.

Trois des quatre enregistreurs embarqués sur les deux premiers LANDSAT ont subi des incidents techniques. Tous les enregistreurs étaient en panne sur LANDSAT 1 le ler juin 1974 et un seul est en fonctionnement actuellement sur le LANDSAT 2. Les utilisateurs qui demandent une couverture LANDSAT pour une partie du monde qui n'est pas encore desservie par une station de réception locale doivent attendre leur tour pour l'enregistrement des scènes demandées sur l'enregistreur qui fonctionne encore.

Le sous-système de télémesure, de télécommande et de poursuite à bord des satellites remplit quatre fonctions : transmettre des informations de "maintenance de bord" au centre de contrôle des opérations de la NASA, dans le Maryland, et au réseau mondial de stations de poursuite de la NASA, et recevoir des stations de la NASA les ordres nécessaires à la commande du véhicule spatial ; transmettre les données des détecteurs embarqués aux stations au sol, où qu'elles se trouvent ; déverser les données emmagasinées sur l'enregistreur en direction des stations au sol américaines ; et relayer les données provenant des plates-formes DCS vers les stations de poursuite et les terminaux locaux d'utilisateurs. Les bandes de télécommunications, longueurs d'onde et vitesses de transmission des données utilisées pour assurer ces différentes liaisons entre les LANDSAT et les stations au sol sont représentées à la Figure 7.

## Qualités de la détection multibande par satellite

Les LANDSAT 1 et 2 apportent une contribution particulière à la collecte de données sur les ressources de la Terre parce qu'ils réunissent les avantages de l'analyseur multibande sur l'appareil photographique en matière de détec-

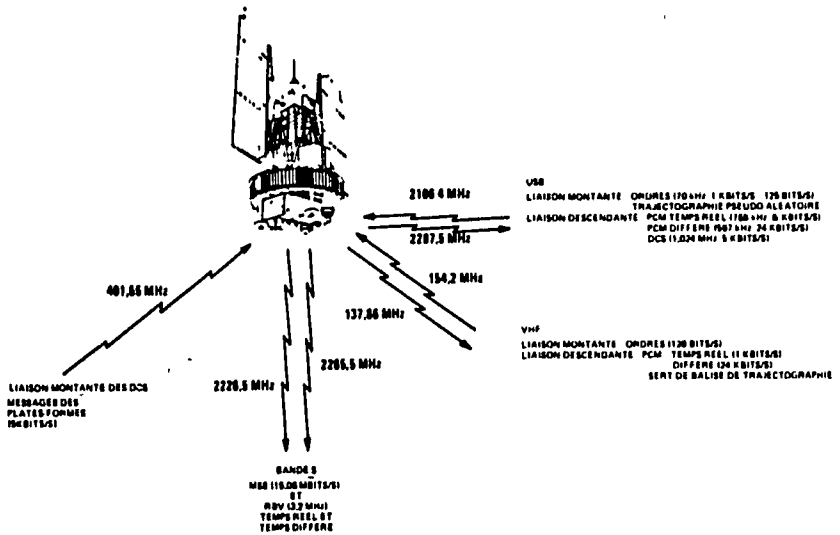



FIGURE 7 Liaisons de LANDSAT avec le sol. Source : NASA/GSFC[5]

tion et ceux du satellite à orbite régulière sur l'avion en tant que plate-forme d'observation.

Les analyseurs multibandes se distinguent de la photographie classique par les caractéristiques suivantes :

- Ils fournissent les données qu'ils détectent sous une forme numérique permettant de traiter rapidement sur calculateur de grands volumes de données afin de produire dans un temps relativement court les informations sur les ressources demandées pour de larges superficies.
- Les données originales obtenues, à la différence d'un "négatif" photographique, peuvent être communiquées sous forme numérique à de nombreuses stations de réception.
- Ils permettent de conserver tout au long des stades du traitement numérique la résolution géométrique originale et une grande fidélité radiométrique et géométrique.
- Ils peuvent acquérir des données importantes dans la zone infrarouge du spectre qui échappe à la photographie.

Le matériel optique à très fort pouvoir de séparation reste supérieur aux analyseurs multibandes existants pour déterminer l'identité, la forme et l'aspect de nombreux petits objets ou traits distinctifs du sol.

L'utilisation d'une plate-forme spatiale pour la télédétection des ressources terrestres se singularise par les caractéristiques suivantes :

### Vue synoptique

De leur position dominante à haute altitude, les détecteurs des satellites donnent une vue synoptique d'une très grande superficie (34 000 $km^2$) en une seule prise de vue. La capacité de couvrir une aussi large surface sous un angle de visée étroit, avec un éclairement solaire déterminé et selon une projection quasi orthogonale (verticale) est importante pour de nombreuses disciplines. Elle permet par exemple au géologue de reconnaître de larges structures qui n'émergent pas clairement des mosaïques de photographies aériennes prises sous des angles différents, l'angle de l'incidence et l'intensité de la lumière solaire étant également différents. Elle permet d'observer sur de vastes étendues l'emplacement et la superficie d'une catégorie de ressources déterminée.

### Caractère répétitif de l'observation

Le passage régulier d'un satellite au-dessus de la même zone tous les 18 jours (ou tous les 9 jours lorsque deux satellites sont en orbite simultanément) présente deux avantages. Le caractère répétitif de l'observation permet de comparer des scènes au même endroit à différentes dates et en différentes saisons, ce qui est particulièrement précieux pour contrôler les modifications (végétation, eau, etc.) et pour tirer davantage d'informations d'une zone en l'observant dans des conditions saisonnières différentes. Par ailleurs, comme les détecteurs des LANDSAT ne "voient" pas à travers les nuages, des passages répétés au-dessus de la même zone fournissent davantage d'occasions d'en obtenir une image, la couverture nuageuse pouvant être limitée ou acceptable.

### Uniformité dans le temps

Le survol de chaque zone par les LANDSAT approximativement à la même heure du jour garantit aux images successives une grande uniformité d'éclairement. Cette régularité de l'angle d'incidence solaire constitue un élément supplémentaire de précision pour des fonctions de surveillance telles que études de l'érosion, études de l'évolution des zones marécageuses, évaluation des procédés d'irrigation et surveillance des différents facteurs de la production agricole.

### Uniformité des vues d'ensemble

Etant donné que l'uniformité d'aspect et d'éclairement qui existe dans chaque vue du LANDSAT est la même pour les zones contiguës dans toutes les directions, il est possible d'établir des mosaïques d'images couvrant de

vastes superficies dont la régularité et la précision sont exceptionnelles. Cela permet de découvrir de très grandes structures géologiques et de procéder dans un délai très bref à des inventaires de ressources telles que forêts, eaux de surface, fourrage ou types de sols à l'échelle d'un continent.

## Le secteur terrien LANDSAT

Dans leur transformation en informations utiles, les données sur les ressources terrestres transmises par LANDSAT sous forme de télémesure passent par quatre stades : réception, traitement, stockage et diffusion, interprétation et analyse.

### Réception des données

Sur les sept stations capables actuellement (1977) de recevoir les données de LANDSAT, trois sont situées aux Etats-Unis (Fairbanks, Alaska ; Goldstone, Californie ; et le Centre Goddard de vols spatiaux de la NASA à Greenbelt, Maryland), et quatre au Canada, au Brésil et en Italie. Le Centre de contrôle des opérations de la NASA à Greenbelt assure le contrôle et la commande du satellite, et notamment du programmeur qui met en route et arrête détecteurs et enregistreurs. Les responsables des stations en dehors des Etats-Unis préviennent la NASA quand ils souhaitent que le MSS soit mis en route au moment de passages du LANDSAT dans la zone de réception de leurs stations. Une station peut recevoir les données du LANDSAT lorsque le satellite est dans son champ de vision, soit approximativement dans un rayon de 3000 km. La portion de la surface terrestre correspondant à la portée de chaque station est donc d'environ 28 000 000 km$^2$.

Le nombre de scènes ou images qu'une station peut recevoir d'un seul satellite en une journée va de 44 à l'Equateur jusqu'à 87 à proximité des pôles en raison de l'accroissement du chevauchement des orbites aux latitudes élevées.

L'acquisition des signaux du satellite à la station de réception est assurée par une antenne circulaire d'environ 10 m de diamètre et l'enregistrement est fait sur bande magnétique (vidéo). Les trois stations américaines envoient leurs bandes à l'installation de traitement des données de la NASA de Beltsville, Maryland. Les stations en dehors des Etats-Unis gardent les bandes pour procéder elles-mêmes au traitement.

### Traitement des données

Les bandes vidéo de données LANDSAT sont soumises à un processus d'annotation, de correction et de conversion en différentes formes de produits :

films, clichés, ou bandes, pour pouvoir être utilisés par les techniciens et analystes.

L'annotation consiste à joindre au produit des informations précises sur la sources des données (détecteur, bande du spectre, heure d'exposition, date, numéro d'orbite, angle d'azimut et de site du soleil, station réceptrice) et sur le point de la Terre auquel elles se rapportent. Certaines de ces indications sont envoyées par le satellite en même temps que les données correspondantes.

Les opérations de correction sont en général de trois types :

- correction radiométrique, se rapportant au fonctionnement des détecteurs, à l'enregistrement des données et aux erreurs de traitement ;
- correction géométrique dans chaque bande et dans chaque image, tenant compte de la position du satellite par rapport à la Terre au moment de la détection (notamment changements d'échelle dus à des variations de l'altitude du satellite ainsi qu'à des variations dynamiques de son orientation et de sa vitesse), du gauchissement de l'image provoqué par la rotation de la Terre pendant la durée du balayage, et d'autres erreurs mécaniques de balayage ;
- corrections de "repérage" pour que les images provenant de différentes bandes de la même scène coïncident les unes avec les autres et que l'on puisse tirer des images composites valables de plusieurs bandes.

L'insertion des annotations et l'exécution de tout ou partie des corrections sur les données initiales du satellite au moyen de calculateurs spécialisés reçoit quelquefois la dénomination de "prétraitement".

Les modalités de traitement et les formats dans lesquels les produits de données de satellites sont proposés aux utilisateurs sont, à quelques détails près, les mêmes dans les centres de traitement actuellement en service dans les quatre pays cités. Il suffira donc de décrire brièvement les produits de données normalisés disponibles aux Etats-Unis.

L'installation de traitement des données de la NASA ne produit que des répliques originales des images LANDSAT (sous forme de composites noir et blanc et couleur) et des bandes compatibles avec un traitement sur calculateur (CCT). Ce service envoie des répliques originales de ses bandes et produits image au centre de données EROS (Systèmes d'observation des ressources terrestres), exploité par le Service géologique des Etats-Unis à Sioux Falls, Dakota du Sud, pour traitement ultérieur et diffusion.

Partant de la bande vidéo originale de données du satellite, les calculateurs de traitement produisent quatre types d'images corrigées sur film noir et blanc de chaque scène de 185 x 185 km, chaque image correspondant aux données enregistrées sur l'une des quatre bandes du MSS. Toutefois, les 64 niveaux d'intensité de la bande originale sont ramenés sur le film noir et blanc

à une moyenne entre 10 et 15 nuances ou niveaux de gris, car l'oeil humain ne peut guère en distinguer plus dans cette couleur. Pour le même objet, les niveaux de gris dans les quatre images distinctes diffèrent souvent l'un de l'autre. Par exemple, la végétation est gris clair dans l'image de la bande 7 et gris sombre dans l'image de la bande 5 (voir notamment la Figure 9, page 95).

Les images en noir et blanc produites à l'EROS se présentent en plusieurs formes : transparents négatifs et positifs de 55,8 x 55,8 mm de chaque bande spectrale à l'échelle de 1 : 3 369 000, et agrandissements sur film et sur papier de 18,5 x 18,5 cm au 1 : 1 000 000 ; agrandissements sur papier de 37 x 37 cm au 1 : 500 000, ou de 74 x 74 cm au 1 : 250 000. L'échelle de 1 : 1 000 000 correspond au format des cartes normalisées de navigation (de l'OACI). Pour les parties du monde dans lesquelles ce sont les meilleures cartes disponibles, cette échelle est particulièrement utile dans la mesure où elles peuvent servir de cartes de base sur lesquelles sont superposées les données LANDSAT aux fins du repérage géographique*.

Autre forme de produit, les images composites en émulsion "fausse-couleur" des vues de LANDSAT tirent parti du fait que l'œil humain, dont les limites sont connues pour la perception de l'échelle des gris, peut par contre distinguer plusieurs centaines de nuances colorées. Si l'on applique à un transparent une couleur fondamentale pour une des bandes spectrales et qu'on applique une autre couleur fondamentale au transparent d'une autre bande de la même vue, les deux transparents peuvent être repérés pour donner un seul transparent ou tirage en couleur composite. La couleur composite est une seule image dans laquelle les variations initiales des nuances de gris sont exprimées sous forme de couleurs différentes ou de nuances de la même couleur. Si l'on applique au transparent d'une troisième bande spectrale la troisième couleur fondamentale, on pourra obtenir une nouvelle image composite en couleur.[6]

Les couleurs utilisées ne sont pas identiques à celles que voit l'œil humain dans la nature. Selon l'usage établi, le vert naturel est présenté en bleu, le rouge en vert et le proche infrarouge en rouge. Par exemple, la végétation apparaît dans les composites "fausse-couleur" sous forme de nuances de magenta, d'orange et de rouge. Des études ont montré que les composites colorés représentent mieux que les produits d'une bande unique la répartition

*Le Canada a innové en produisant rapidement des images en "visualisation rapide" de 70 mm à titre de produit initial des données. Ces images ont une résolution géométrique qui est environ la moitié de celle des produits de la NASA, mais elles peuvent être examinées à la station de réception le jour même de leur acquisition. Le centre canadien de télédétection traite ensuite à la demande des images de plus haute résolution, qui représentent de 20 à 30 % de la totalité des données reçues. Par contre, la NASA traite toutes les données au niveau de résolution supérieur et ne fournit de données en "visualisation rapide" qu'à la demande. La NASA espère être en mesure, fin 1977, de diffuser ces données à haute résolution dans un délai d'une semaine environ. Les stations brésilienne et italienne disposent également du procédé de visualisation rapide.

géographique des différentes catégories de surface, types de roches par exemple.

Dans le traitement normal des composites "fausse-couleur", on combine les bandes 4, 5 et 7 du MSS, le jaune étant utilisé pour la bande 4, le magenta pour la bande 5 et le bleu cyan pour la bande 7. Les composites de couleur sont disponibles sous forme de films positifs à l'échelle de 1 : 1 000 000 et de clichés à l'échelle de 1 : 1 000 000, ces deux types étant produits par la NASA, ainsi que de clichés aux échelles de 1 : 500 000 et 1 : 250 000 produits à l'EROS.

Le produit le plus efficace pour tirer le meilleur parti des 64 niveaux d'intensité du MSS est la bande compatible avec un traitement sur calculateur (CCT). Les données de la bande vidéo originale sont converties dans un premier temps en bandes numériques à haute densité (HDDT) par un sous-système de traitement avant de subir un nouveau traitement qui les convertit en CCT. Ces dernières conservent un nombre suffisant des données transmises à l'origine pour que tous les niveaux d'intensité soient enregistrés sous forme numérique. Les CCT peuvent être entrées en machine pour l'analyse numérique des propriétés spectrales de chaque pixel et pour la production des informations voulues sous forme de tableaux. Ces bandes peuvent également servir à produire des cartes thématiques mettant en relief une caractéristique choisie du terrain (voir Tableau 3, page 89, et les planches couleur, pages 92-94).

### Stockage et diffusion des données

Aux Etats-Unis, les fonctions de recensement, stockage, reproduction et distribution des produits sur film et sur bande de la télédétection spatiale et aérienne sont assurées par le centre de données EROS, qui est chargé de répondre aux demandes, étrangères et nationales, de photographies et d'images de télédétection spatiale et aérienne émanant des institutions fédérales.*

Pour faciliter le recensement de ses informations et à titre de service aux utilisateurs potentiels, la NASA établit des bandes de microfilms en 16 mm qui contiennent des répliques en réduction des nouveaux produits de données disponibles chaque mois pour chaque bande de détecteur. S'ils ne sont pas d'une qualité suffisamment bonne pour la plupart des utilisations pratiques, ces films montrent effectivement l'importance de la couverture nuageuse dans chaque vue et permettent donc de voir à quel point elle est utilisable. Ces bandes peuvent être obtenues au centre de données EROS sous forme de

*D'ici la fin de 1977, la NASA limitera les activités de son centre de traitement des données LANDSAT à la production de HDDT annotées et corrigées. La production des copies originales et CCT ainsi que des copies destinées aux consommateurs sera transférée au centre de donnée EROS.

bobines ou de microfiches, ou consultées dans différents "services de lecture" disséminés dans tous les Etats-Unis. La NASA publie actuellement deux catalogues mensuels de données, couvrant l'un les Etats-Unis et l'autre le reste du monde, et qui contiennent les coordonnées géographiques, les numéros d'identification, les données sur la couverture nuageuse, les différents autres éléments d'information sur les scènes figurant dans les microfims du mois.* La NASA a également préparé des catalogues récapitulatifs des zones couvertes par satellite aux Etats-Unis et ailleurs.† Il existe au moins une image totalement exempte de nuages pour 80 à 90 % des surfaces émergées de la Terre.

Au mois de janvier 1976, les archives du centre de données EROS contenaient 600 000 images LANDSAT, 40 000 images du SKYLAB et tirées d'autres données de satellites, 4 millions de clichés photographiques en cartographie aérienne établis par le Ministère de l'intérieur, et près de deux millions d'images provenant du programme de recherche aéronautique de la NASA. Pour ces produits, la demande totale est passée de 165 000 images en 1973 à plus de 400 000 en 1975[7]. La politique de facturation est déterminée par les coûts de reproduction des produits de données. En janvier 1977, le tarif du centre était le suivant : $ 200 par scène pour les CCT ; $ 8 par tirage sur papier noir et blanc en 18,5 cm d'une scène tirée d'une seule bande ; $ 12 par tirage sur papier d'un composite couleur de 18,5 cm ; $ 10 ou $ 15 pour les produits sur film de même dimension, et des prix plus élévés pour les produits en 37 et 74 cm. Pour plus de la moitié, le produit des ventes provient des données du LANDSAT. En termes monétaires, l'industrie privée a été le principal acheteur (30 %), suivie par les organismes fédéraux (24 %), les établissements d'enseignement et les universités (16 %), et la clientèle étrangère (12 %).

La diffusion des données de LANDSAT par des services en dehors des Etats-Unis est régie par des accords bilatéraux entre la NASA et les services étrangers propriétaires des stations de réception. Ces accords prévoient que les stations fournissent sans restriction ni discrimination les données qu'elles reçoivent en les facturant à un prix juste et raisonnable, fondé sur le coût réel.

*On peut se procurer ces catalogues au National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.

†Les cartes répertoires du monde, destinées à montrer le nombre d'images à couverture nuageuse relativement faible qui existe pour chaque vue, existent sous forme de deux collections : (1) l'USGS a publié 7 cartes à l'échelle de 1 : 18 000 000 sous le titre de *Index to LANDSAT Coverage*[8], avec pourcentage de la couverture nuageuse, arrêtées à juillet 1974 ; (2) la Banque mondiale a publié un *LANDSAT Index Atlas of the Less Developed Countries of the World*[9], dont la validité va jusqu'a mai 1975, qui indique la date de chaque image et le degré de la couverture nuageuse, et permet à l'utilisateur de retrouver l'image exacte dont il a besoin. D'autres cartes répertoires ont été établies par des entreprises privées, notamment des sociétés pétrolières, mais elles ne sont pas diffusées dans le public.

**Interprétation et analyse des données**

L'étape finale du processus de transformation des données brutes de télédétection en information intelligible que les responsables des ressources naturelles puissent exploiter est l'interprétation et l'analyse des images ou données numériques. (On trouvera à la Figure 8 un résumé du flux des données de la réception à l'analyse.)

On peut utiliser différentes méthodes pour tirer des informations pratiques des données de télédétection. Dans un ordre approximatif de coût et de complexité croissants, ces méthodes sont les suivantes : (1) interprétation directe de photographies classiques à l'aide d'instruments simples et peu coûteux ; (2) interprétation directe d'images photographiques à contrastes renforcés et faisant appel à des équipements optiques plus coûteux ; (3) interprétation directe de photographies à contrastes renforcés par des procédés numériques, à l'aide des équipements du point 2 ; et (4) analyse numérique des CCT sur terminal interactif afin d'obtenir le produit de calculateur souhaité, lequel sera soumis à son tour à une interprétation et une analyse humaines.

La plus simple de ces méthodes, l'interprétation directe de photographies classiques, fait appel aux techniques de photo-interprétation familières aux géologues, géographes, sylviculteurs et autres spécialistes des ressources naturelles. Elle aura en général recours à des agrandissements photographiques ou à un traitement diazo* ainsi qu'à des tables lumineuses et à des modèles simples de projecteurs, vendus quelque centaines de dollars. Plus l'analyste aura l'expérience des ressources naturelles et de leur interprétation et plus la région à l'étude lui sera familière, meilleure sera vraisemblablement l'interprétation.

Si le spécialiste des ressources naturelles dispose d'un laboratoire de photo couleur raisonnablement équipé, du type que l'on trouve dans nombre d'universités et services gouvernementaux des pays en voie de développement, des procédés supplémentaires d'augmentation des contrastes, bien connus des photographes, pourront venir en aide au photo-interprète. Ces procédés peuvent également être utilisés avec des équipements spéciaux, zoom transfer

*Les techniques diazo, utilisables en laboratoire ou sur le terrain, donnent au chercheur une souplesse d'images couleur à laquelle ne peuvent prétendre les produits standard en fausse-couleur fournis par le centre de données EROS. Cette technique simple, relativement peu coûteuse et facilement utilisable par toute personne familiarisée avec les tirages de bleus, permet de convertir un film noir et blanc en images couleur avec un minimum de matériel photographique. Une émulsion photo-sensible réagit à la vapeur d'ammoniac en donnant une couleur vive sur un film sensible à l'ammoniac, lequel est ensuite exposé avec interposition de transparents noir et blanc de MSS. Trois produits du MSS sur film et trois bases transparentes diazo dans les couleurs voulues suffisent pour fournir des transparents standard en fausse-couleur dans lesquels les nuances de gris sont représentées par des teintes colorées. Le procédé diazo permet de faire des essais avec un certain nombre de couleurs afin de mettre en évidence des traits caractéristiques. Ce travail peut être réalisé à la lumière naturelle ou dans des tireuses de bleus à l'ammoniac fonctionnant à la lumière ultraviolette[10].

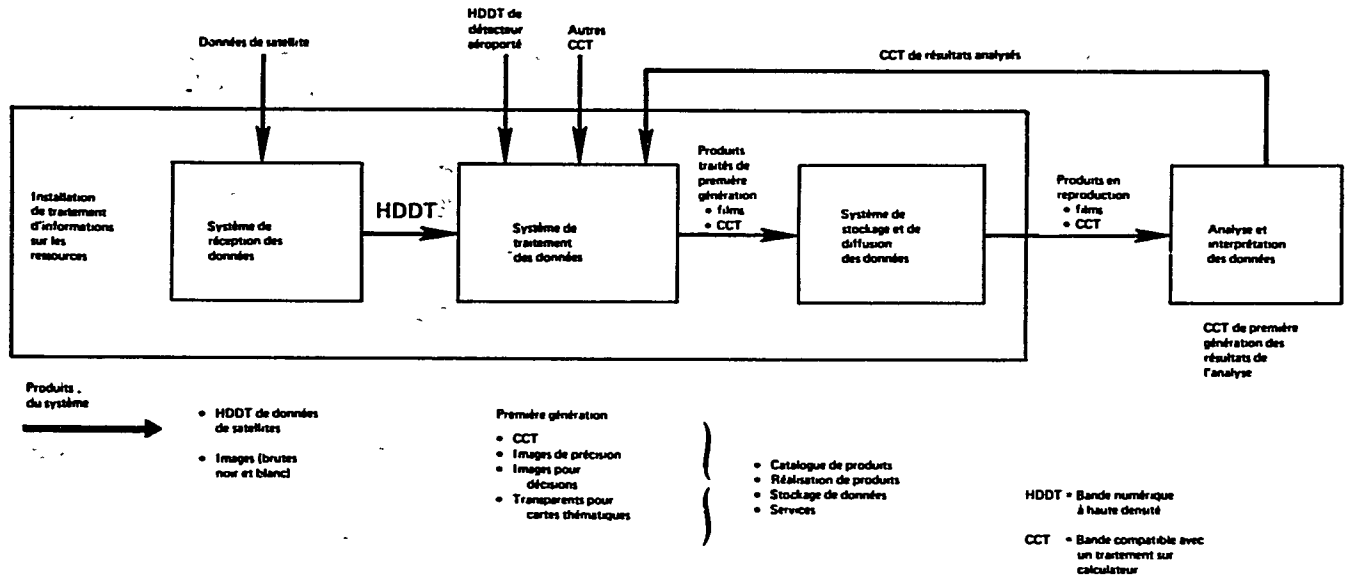



FIGURE 8 Eléments de base du secteur sol d'un système de télédétection des ressources terrestres. Source : adaptée d'une publication de l'ONU[11].

scopes, visionneuses à superposition d'images colorées, et microdensimètres. Ces matériels coûtent respectivement de $ 5 à 8000, de $ 10 à 15 000 et de $ 8 à 30 000, et se justifient plus ou moins en fonction de leur utilisation prévue. Le premier sert à transférer sur des cartes de ressources naturelles à différentes échelles les données tirées d'images à contrastes renforcés. A l'aide d'une visionneuse à superposition, le chercheur peut examiner les bandes spectrales individuelles d'une scène donnée à travers des filtres monochromes avec différentes intensités. Avec ce procédé, des caractéristiques choisies de la surface peuvent être mises en évidence et communiquées avec plus d'efficacité pour l'utilisateur de données. Les densimètres mesurent les densités de couleur d'une reproduction en couleur composite ou de chaque couche de couleur par interposition de filtres appropriés, et peuvent servir à quantifier certains aspects de l'analyse des images.

Parmi les procédés photographiques utilisés à ce niveau d'analyse figurent les techniques destinées à faire ressortir les limites ou bords de caractéristiques de la surface ; à superposer plusieurs images d'une même scène, prises à des dates différentes, et dont le repérage est incorrect ; et à attribuer des couleurs différentes à des gammes de densités spécifiques d'une image de façon à distinguer plus nettement les différentes densités. Il s'agit dans tous les cas d'une "augmentation des contrastes", procédé qui, en s'écartant de la fidélité de l'image, tend à renforcer les caractéristiques qui présentent un intérêt particulier pour le chercheur, le planificateur ou le responsable des ressources naturelles. Lorsqu'on dispose de cartes de base à une échelle appropriée, on peut leur superposer des films transparents de LANDSAT pour rapporter les données du satellite aux caractéristiques géographiques qu'elles représentent. Dans certains cas, ce sont les images LANDSAT elles-mêmes qui ont fourni les premières cartes de base de régions qui n'avaient pas encore été cartographiées.

La troisième étape peut utiliser toutes les méthodes qui viennent d'être décrites, mais nécessite en sus un procédé numérique spécial d'augmentation des contrastes des produits photographiques. A l'heure actuelle, ces documents sont produits par plusieurs laboratoires de recherche gouvernementaux, universités et entreprises industrielles aux Etats-Unis. A l'exception des organismes les plus importants, les utilisateurs ne pourront pendant un certain temps se procurer ces produits qu'auprès de sources commerciales. Aux Etats-Unis, les principales sociétés d'exploitation minière, pétrolière et forestière ont acheté en grande quantité des scènes isolées de LANDSAT, images couleur à bandes contrastées* et plusieurs formes d'images couleur

*Technique qui consiste à utiliser le rapport entre les différentes intensités de signal captées dans chaque bande spectrale comme facteur supplémentaire de l'analyse spectrale. Ce rapport entre bandes tend à minimiser les effets des interférences atmosphériques. On peut pondérer chaque bande afin d'accentuer les différences entre surfaces réfléchissantes.

différenciées, à l'échelle de 1 : 250 000 et à un prix (octobre 1976) de l'ordre de $ 800 à 1000 l'une. Un tel investissement est apparemment rentable en regard des frais de prospection et peut se justifier aussi dans le cadre d'un vaste projet d'inventaire dans des pays en voie de développement.

Il y a enfin la méthode la plus complexe, et dans un premier temps la plus coûteuse : l'analyse numérique de bandes compatibles avec un traitement sur calculateur (CCT). Les résultats de ce type d'analyse numérique se présentent sous un grand nombre de formes visibles : tableaux statistiques, graphiques, cartes numériques, histogrammes, transparents superposables sur carte, images annotées, ou cartes thématiques dans lesquelles les objets ou caractéristiques du paysage présentant de l'intérêt bénéficient d'une augmentation de contraste et sont fréquemment colorées de façon appropriée afin de définir leur emplacement et leur étendue.

Les principaux services gouvernementaux et universités des Etats-Unis, du Japon, de la France, de l'Allemagne et d'autres pays industrialisés disposent désormais des moyens techniques pour procéder à ce type d'analyses et en tirer tout ou partie de ces produits. De plus, un certain nombre d'entreprises, aux Etats-Unis principalement, proposent sur une base commerciale ce type de services et de produits. De nombreuses sociétés privées ainsi que des services du gouvernement fédéral et des Etats américains les achètent en dépit de leur coût ($ 2000 à 8000 par scène de LANDSAT en fonction du type de produit) parce qu'ils n'en ont besoin que pour de faibles superficies ou suffisamment rarement pour que leur acquisition soit rentable. Ces coûts diminueront avec l'augmentation de la concurrence et l'amélioration des calculateurs utilisés pour le traitement des images.

Le matériel de traitement numérique représente un investissement de l'ordre de $ 300 000 à plus de $ 1 000 000 selon le type de calculateur, d'affichage périphérique et de dispositif d'enregistrement couleur. L'achat d'un tel matériel représente pour un pays en voie de développement une décision d'importance majeure en matière d'investissement ; il convient donc d'en étudier attentivement les coûts et bénéfices potentiels pays par pays ou dans un cadre régional.

Dans les premiers temps de LANDSAT 1, le gros de la demande aux Etats-Unis s'adressait aux produits sur film et image. Mais à mesure que les utilisateurs prenaient mieux conscience du rapport qualité/coût des produits spécialisés et traités numériquement, on a observé une nette augmentation de la demande de CCT. Le fait que les données originales du LANDSAT soient reçues sous forme numérique plaide en faveur de l'utilisation des méthodes sur calculateur pour l'étude des bandes spectrales. Le traitement numérique conserve—et permet au chercheur d'exploiter—la totalité des informations contenues dans les données originales du satellite, à la différence des produits sur film et sur papier qui perdent en détails d'information à chaque traitement successif de la même scène.

Il existe un nouveau dispositif facilitant l'affichage et la manipulation des données numériques : le terminal interactif d'analyse de données (IDAT). Acceptant les CCT, ce terminal est autonome et peut être installé en tout lieu. Après une brève formation, les analystes ou responsables de ressources naturelles peuvent, en passant une bande de données LANDSAT sur l'IDAT, procéder à une série d'opérations permettant de transformer ces données en informations utilisables : rassembler des données statistiques, classer automatiquement des caractéristiques du sol particulières, afficher les données traitées qui les intéressent et, avec l'équipement annexe approprié, en tirer des copies permanentes.

L'IDAT permet de choisir des couleurs pour mettre en relief des signatures, thèmes ou motifs spécifiques. Le spécialiste travaille sur un écran de télévision et affecte des couleurs aux motifs choisis comme "zones d'étude" ou "ensembles d'étude" délimités par un curseur réglable. Instruction peut être donnée au calculateur d'attribuer les mêmes couleurs à des signatures spectrales semblables en d'autres emplacements de la même scène, ou encore à des scènes adjacentes ou à la même scène détectée des jour différents ou à des saisons différentes à fins de comparaison. Le calculateur compte le nombre de pixels figurant dans toutes les signatures semblables et fournit ainsi une mesure quantitative de la caractéristique : qu'il s'agisse d'une surface cultivée, de l'état de terrains de parcours, d'une forêt, d'une masse d'eau, d'une catégorie d'utilisation des terres ou d'une structure géologique. Ces données peuvent ensuite être affichées sur l'écran de l'IDAT sous forme de cartes thématiques, d'histogrammes ou autres types de présentations graphiques. Le coût actuel du premier système IDAT est de $ 250 000 à $ 500 000, selon les périphériques installés.

## Collecte de données à plusieurs niveaux

Pour avoir toute son efficacité, la télédétection par satellite doit être complétée dans de nombreux cas par des données aériennes et par l'observation au sol. Un tel échantillonnage à plusieurs niveaux fournit des informations de plus en plus détaillées sur des éléments de plus en plus circonscrits de la zone à l'étude. Les sous-échantillons les plus détaillés permettent d'extrapoler les découvertes à l'ensemble d'une scène LANDSAT et, partant, de tracer un inventaire des caractéristiques choisies.

Les rôles particuliers de la détection aérienne et des observations au sol dans un système complet de télédétection méritent un bref exposé.

### Détection aérienne

Les missions de photographie aérienne sur une zone particulière servent à recueillir des données à un niveau intermédiaire entre la télédétection par

satellite et l'observation au sol. Lorsqu'elles sont recueillies en même temps qu'un passage du LANDSAT, ou dans des délais raisonnables après celui-ci, les données peuvent servir de "vérité terrain" pour étalonner les données des détecteurs spatiaux.

De plus, pour les objectifs hors de portée des satellites, la photographie ou la détection aérienne sont souvent la seule solution de rechange. L'avion fournit une excellente plate-forme pour les chambres photographiques, magnétomètres, radars, compteurs à scintillations et instruments à infrarouge, en particulier pour les missions de collecte de données qui ne nécessitent pas de surveillance répétitive de vastes zones dans des conditions uniformes. On met sans cesse au point de nouveaux détecteurs aériens pour la prospection minière et pétrolière, la cartographie, les études géophysiques et les applications ayant trait à la sylviculture, l'agriculture, l'écologie et les ressources en eau.

A basse altitude (jusqu'à 9000 m), l'avion sert actuellement à la gestion des terrains de parcours, au repérage des bancs de poissons, aux études sur la qualité des eaux et à la photogrammétrie. A moyenne altitude (de 9 à 15 000 m), l'avion équipé de radars à ouverture latérale, de scattéromètres radars, de chambres infrarouges et multibandes, et de divers matériels photogrammétriques et multibandes, est particulièrement précieux pour la photoreconnaissance, la planification urbaine, la surveillance agricole et les applications portant sur la qualité de l'environnement. A haute altitude (plus de 15 000 m), les appareils emportant des chambres grand angle à haute résolution, des chambres multibandes et divers modèles de chambres et analyseurs à balayage infrarouge, sont utilisés en détection par balayage de l'horizon et en cartographie à haute résolution de surfaces étendues. La photographie à haute altitude et haute résolution s'est révélée extrêmement utile pour évaluer les dommages provoqués par le tremblement de terre du Guatemala en 1976.

Ces systèmes aéroportés peuvent fournir des tirages sur papier, des films et des bandes de MSS pour analyse au sol ; certains appareils sont équipés pour l'analyse ou le prétraitement des données à bord. L'avion est particulièrement intéressant du fait de sa souplesse pour le choix des meilleures conditions de vol, d'altitude et d'heure du jour pour des études non-répétitives ou pour l'observation d'événements particuliers.

Différentes charges utiles de détection ont également été montées sur des ballons libres ou captifs, mais les effets de pendule, leur rotation et les effets du vent rendent ces derniers peu intéressants pour les études qui nécessitent une certaine stabilité de la plate-forme.

### Observation au sol

L'observation au sol est un élément essential de tout programme de télédétection. Qu'une étude se fonde sur les résultats d'une télédétection aéroportée ou spatiale, les données obtenues seront sans grande signification faute

d'un travail au sol de "vérité terrain" : examen, échantillonnage ou mesure des caractéristiques de la surface du sol afin d'établir une relation entre ce qui est vu sur les résultats de la télédétection et ce qui existe effectivement sur le sol. Cette corrélation doit être faite pour les éléments tant statiques que dynamiques de la surface de la Terre.

Pour certaines grandes catégories d'informations, il suffit d'étudier les données des satellites, pratiquement sans travail sur le terrain : lorsque les hydrologues souhaitent connaître la superficie des lacs et réservoirs d'un pays, la seule analyse spectrale des données du satellite fournit la réponse. Par ailleurs, un minimum de données d'observation au sol permettra par exemple de faire la différence entre les cultures d'hiver et les cultures de printemps dans les images LANDSAT.

Mais en règle générale, à défaut de mesures et d'observations au sol adaptées à la tâche de télédétection, la précision des informations glanées dans les images ou données numériques provenant de l'espace et le contrôle géodésique des données risquent fort de tomber au-dessous de l'acceptable et de n'être d'aucune utilité réelle pour le responsable des ressources naturelles. A titre d'exemple, si l'on a pour objectif d'identifier, distinguer et cartographier douze catégories de végétation verte, cinq catégories d'eaux ou neuf éléments différents de classification pour la cartographie des sols, l'observation au sol revêt une importance extrême.

Pour certaines missions de contrôle, estimation des surfaces emblavées ou des coupes claires par exemple, la nécessité de la vérification continue des données spatiales par l'observation au sol peut diminuer progressivement avec les passages successifs du satellite, à mesure que l'expérience rend les signatures familières.

L'étendue et la nature de l'étude au sol dans le cadre d'un programme de télédétection dépendent non seulement des objectifs de celui-ci mais également des types de détecteurs utilisés et des méthodes d'analyse des données qui sont prévues. Pour qu'une étude soit aussi efficace et précise que possible, les chercheurs doivent choisir soigneusement le moment optimal des mesures, l'emplacement des prises d'échantillons, les instruments, et les propriétés à observer ou à mesurer.

Dans certains cas, en particulier pour des conditions dynamiques telles que l'humidité des sols, la collecte des données de vérité terrain et le passage du satellite doivent être quasi simultanés. Les sites choisis pour les échantillonnages au sol doivent être représentatifs des caractéristiques ou conditions faisant l'objet de l'étude et facilement identifiables dans les images d'origine spatiale.

Pour de nombreuses applications de la télédétection, la vérification sur le terrain pourra se contenter de l'œil humain. Toutefois, des instruments seront nécessaires pour certaines tâches : matériel classique d'échantillonnage et de laboratoire pour les études des sols et des eaux *in situ*, radiomètres

infrarouges pour mesurer les températures, et différents types de spectrophotomètres ou de spectroradiomètres afin de mesurer la réflectance spectrale d'objets à proximité du sol en vue d'une corrélation avec la réflectance des mêmes objets dans la masse telle que l'enregistrent les détecteurs du satellite.

Parmi les observations au sol utiles pour l'analyse des données fournies par satellite ou par avion, il faut noter et enregistrer les conditions atmosphériques au moment du survol, car la réflectance et la transmission de l'énergie électromagnétique sont modifiées par ces conditions et, si l'on dispose d'informations à leur sujet, un facteur de correction pourra être introduit dans l'analyse des données.

## Notes

1. American Society of Photogrammetry, *Manual of Remote Sensing* (Falls Church, Virginia, 1975).
2. General Electric Space Division, *ERTS Reference Manual* (Valley Forge, Pennsylvania, 1975).
3. U.S. National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, *Data Users Handbook*, Document No. 71SD4249, looseleaf (Greenbelt, Md., 1972), p. 2-6 (dénommé ci-après U.S. NASA/GSFC, *Data Users Handbook*).
4. U.S. NASA/GSFC, *Data Users Handbook*, p. 2-9.
5. U.S. NASA/GSFC, *Data Users Handbook*, p. C.2.
6. O. G. Malan, "How to Use Transparent Diazo Color Film for Interpretation of LANDSAT Images," in *COSPAR Technique Manual Series, No. 6* (Paris, International Council of Scientific Unions, Committee on Space Research (COSPAR), 1976), p. 9.
7. J. M. De Noyer, "Remote Sensing Programs in the Department of the Interior that Relate to Food Production." Prepared for the Technology Assessment Board of the Office of Technology Assessment, Congress of the United States, U.S. Geological Survey Open File Report No. 76-48 (Reston, Va., 1976).
8. U.S. Geological Survey, *Index to LANDSAT Coverage*, Edition 1, August 1972 to July 1974: 7 sheets, sheet WPS-6, 1.9 million (scale), others 1:18 million, (Reston, Virginia, 1975).
9. International Bank for Reconstruction and Development, *LANDSAT Index Atlas of the Less Developed Countries of the World* (Washington, D. C., 1976).
10. Malan, *COSPAR Technique Manual Series*, pp. 9-12.
11. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Implementation Requirements for an International Regional Data Storage and Dissemination Centre for Earth Resources Satellite and Related Data: Report by the Secretariat* (A/AC.105/137), Jan. 1975, p.7.

# IV L'expérience des Landsat 1 et 2

Depuis le lancement du premier LANDSAT en juillet 1972, les images de ses détecteurs multibandes (et celles de son homologue lancé en janvier 1975) ont fait l'objet d'études et d'expériences poussées de la part de plusieurs centaines de savants et techniciens appartenant à une large gamme de disciplines. Parmi ces techniciens de la télédétection figure un groupe particulier de "chercheurs principaux", travaillant aux Etats-Unis et dans cinquante-deux autres pays et dont les projets de recherche ont été retenus et officiellement patronnés par la NASA en vue d'encourager un examen systématique des possibilités des LANDSAT. Leurs rapports, ainsi que les conclusions de nombreux autres expérimentateurs, ont servi de base à l'évaluation de la teneur des données fournies par le satellite et de leur utilité pour une multitude d'applications.

La masse de documentation scientifique et technique ainsi accumulée sur les expériences d'application de la télédétection touche essentiellement les techniques de traitement, d'analyse et d'interprétation, sans oublier un embryon d'expériences quasi opérationnelles dans des domaines tels que l'agriculture, les terrains de parcours, la sylviculture, les ressources en eau, la géologie, la cartographie, l'occupation des sols, la démographie, la protection de l'environnement, l'océanographie, la prévision des catastrophes, ainsi que la santé humaine et animale.

Les résultats de bon nombre de ces expériences ont également été communiqués lors d'une série de grands symposiums et ont fait l'objet d'un examen critique lors de plusieurs réunions d'études.* Ils forment pour une bonne part les sources des exposés succincts qui suivent. Ces exposés font le point, pour chacun des secteurs d'application qui viennent d'être énumérés,

*Parmi les nombreux rapports publiés, trois des plus importants sont : (1) *Remote Sensing for Resource and Environmental Survey . A Progress Review*, par le Comité sur les programmes de télédétection pour l'étude des ressources terrestres, Conseil national de la recherche[1] ; (2) *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study* par la Earth Satellite Corporation et la Booz-Allen Applied Research Corporation[2] ; et (3) *Practical Applications of Space Systems*, par le Comité des applications spatiales, Conseil national de la recherche[3].

sur ce que les données multibandes des LANDSAT* permettent de révéler, sur la mesure dans laquelle ces données répondent aux besoins aux Etats-Unis, et sur les utilisations qu'elles peuvent avoir, ou qu'elles ont déjà eues (comme en témoignent certains exemples concrets)†, dans les différents milieux du monde en voie de développement.

## Production agricole

L'acuité des préoccupations mondiales en matière d'alimentation a tout naturellement centré l'attention des spécialistes sur la contribution que la télédétection spatiale peut apporter à une meilleure gestion des systèmes agricoles ainsi qu'à une information plus précise et plus précoce sur le rendement des productions agricoles clés.

Les recherches sur l'application de la télédétection par satellite à l'agriculture américaine ont porté principalement sur l'inventaire des superficies cultivées, la prévision des rendements, l'étude des sols, la conception et la mise en œuvre de projets d'irrigation, et l'évaluation des dommages provoqués par les inondations. Ces deux derniers points seront étudiés dans une section ultérieure consacrée à la gestion des ressources en eau.

### Superficies cultivées

La précision de l'identification des cultures au moyen des données actuelles des LANDSAT a atteint 90% et plus lors des études de zones où règnent de vastes champs homogènes et rectangulaires de quasi-monocultures, comme les rizières irriguées de Californie et les terres labourées à l'automne en prévision des cultures de blé dans le Kansas, l'Oklahoma et au Texas. La précision des données LANDSAT pour l'identification des cultures dans certaines zones emblavées des Etats-Unis est à l'étude dans le cadre de l'actuelle expérience LACIE‡. Mais dans les autres parties du monde, relativement rares sont

*Même si les satellites météorologiques et autres apportent une contribution croissante à la surveillance de l'environnement, leurs possibilités d'action sont connues et ne seront donc pas décrites en détail ici. Le présent chapitre porte exclusivement sur l'expérience acquise avec les nouveaux satellites LANDSAT, spécialement conçus pour fournir des données sur les ressources terrestres.

† Les exemples des applications des LANDSAT dans les pays en voie de développement, fournis par les membres du Comité ou provenant d'autres sources, sont présentés en conclusion à la plupart des exposés du présent chapitre.

‡La NASA, le Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA) et l'Administration nationale des Océans et de l'Atmosphère (NOAA) procèdent actuellement à une étude de grande envergure en vue de déterminer le degré de précision que permet d'atteindre la télédétection par LANDSAT en matière d'identification, de superficie et de rendement des cultures. Ce projet, dénommé "Large Area Crop Inventory Experiment" (LACIE), a commencé par la surveillance des semailles et rendements de blé ainsi que de l'état des

les zones ayant une structure aussi simple que celle des champs de blé aux Etats-Unis. Dans les pays en voie de développement, les terres cultivées sont fréquemment imbriquées avec des terres non cultivées, les champs sont petits et de forme irrégulière, et de nombreuses espèces cultivées ont des réponses spectrales similaires. Dans des environnements d'une telle complexité, il est à craindre qu'une seule image de LANDSAT ne fournisse pas suffisamment de données pour qu'elle soit utile aux fins d'identification des cultures.

On peut améliorer cette identification en faisant la synthèse d'images prises à plusieurs dates différentes ; avec un traitement sur calculateur, ce procédé a permis d'atteindre des précisions de 95 % et plus dans des zones simples et de 75 à 80 % dans des zones plus complexes [4,5,6]. On peut escompter de nouvelles améliorations de la précision lorsque l'on aura accumulé des données supplémentaires sur chaque zone témoin, notamment amélioration des calendriers des cultures répondant aux limites phénologiques naturelles, informations sur les sols et la composition des cultures, meilleure connaissance des pratiques agricoles locales. La mise en œuvre de techniques d'échantillonnage statistique comme celles qu'utilise déjà le Service de la statistique de l'USDA, combinées aux images LANDSAT, accroîtra encore la précision de l'estimation des superficies cultivées dans des zones étendues[7,8].

En ce qui concerne les pays en voie de développement, l'expérience acquise à ce jour aux Etats-Unis en matière d'identification des cultures avec le LANDSAT a les implications suivantes :

- Avec les petites parcelles irrégulières où les cultures s'entremêlent, habituelles à de nombreux pays en voie de développement, il sera difficile d'identifier et de mesurer la superficie de cultures choisies avec les niveaux de résolution actuels.
- L'utilisation des données de satellite sera problématique dans les régions tropicales humides où le même type de culture peut être à plusieurs niveaux de croissance tout au long de l'année. En outre, les détecteurs actuels ne peuvent traverser la couverture nuageuse saisonnière.
- Malgré ces limitations, si des pays en voie de développement ne disposant pas d'informations suffisantes sur leurs superficies cultivées peuvent obtenir des estimations ayant une précision de l'ordre de 75 à 80 % au moyen de satellites de ressources terrestres, ils auront pour la première fois une base sur laquelle établir un système d'échantillonnage statistique de l'agriculture.

---

cultures dans la région des grandes plaines, recoupée par des opérations de vérité terrain et de collecte traditionnelle de données menées par des fonctionnaires de l'USDA. Si les résultats donnent satisfaction aux Etats-Unis, l'expérience se poursuivra sur le blé dans d'autres pays et pourra ensuite être étendue à d'autres cultures, telles que le riz et le soja.

**Prévision des rendements**

Identifier des types de cultures et mesurer les superficies cultivées n'est qu'une des étapes du processus de prévision des productions agricoles. L'autre est la prévision des rendements. Pour le moment, les études américaines montrent que, pour la prévision des rendements en blé, les données de LANDSAT *seules* ont peu de chance de remplacer dans la plupart des cas les méthodes existantes. Toutefois, en association avec l'estimation des superficies cultivées du programme LACIE, des études parallèles ont été menées sur l'estimation des rendements en blé ; elles font appel à une combinaison de modèles de dépérissement de zones emblavées et d'observations météorologiques au sol et par satellites*. Les premiers résultats sont prometteurs. A la dernière phase de l'étude, des données météorologiques ont éte utilisées avec les observations LANDSAT de l'état des cultures pour améliorer encore le processus d'estimation des rendements.

Les résultats obtenus actuellement avec les données MSS dans le cas du blé font naître un optimisme prudent quant à l'application de formes améliorées de prévision des rendements et d'estimation des superficies cultivées dans les pays en voie de développement, car les avis restent réservés au sujet de la capacité des LANDSAT et satellites météorologiques existants de fournir des estimations améliorées des superficies et rendements pour d'autres types de cultures†.

**Etude des sols**

Les études faites pour établir si les données de LANDSAT permettent de procéder utilement à des levés systématiques des sols et des terres ont été

*L'un des modèles agrométéorologiques ainsi obtenus est une description numérique du type d'interaction d'une culture à différents stades de développement avec son environnement (atmosphère et sol) sous la forme d'absorption et d'utilisation de l'énergie solaire, d'absorption de l'eau contenue dans le sol et d'exsudation de l'eau dans l'atmosphère. Pour être complet, le modèle fait également intervenir les apports en humidité et en énergie de parties des champs cultivés qui ne sont pas en végétation.

†Le projet LACIE vise à expérimenter pour sa faisabilité technique une méthode consistant à dériver de données historiques, météorologiques et fournies par satellite, des prévisions de production du blé proches des normes strictes de l'USDA. Pour obtenir en temps opportun des prévisions utiles des rendements globaux des principales cultures du monde, il n'est toutefois pas nécessaire de satisfaire à ces normes. Un projet de système mondial d'information agricole, basé sur les données fournies par LANDSAT et d'autres satellites et sur des modèles agrométéorologiques acceptables pour chacune des principales cultures, ainsi que sur des données d'origines différentes, est à l'étude à l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture des Nations Unies (FAO) et a été présenté au Bureau d'estimation technologique du Congrès américain. Selon son auteur ce programme pourrait donner des prévisions de rendement satisfaisantes à l'échelle du monde deux ans après son lancement pour le blé, trois ans pour le maïs et le soja, et quatre ans pour le riz[9].

encourageantes. Les variations des caractéristiques des sols peuvent être mises en lumière sur des images LANDSAT traitées sur calculateur. La délimitation de ces motifs, confirmée par l'observation au sol, peut produire des cartes d'association des sols qui donnent une bonne indication des caractéristiques probables de ces derniers.

Des études menées en coopération entre des spécialistes des sols du Service de conservation des sols de l'USDA et des chercheurs universitaires ont démontré, dans l'Indiana et le Missouri, que le traitement numérique des données de LANDSAT fournit suffisamment d'informations pour tracer des cartes détaillées des sols aux échelles de 1 : 15 840 et 1 : 20 000 et, dans certains cas, permet l'identification de séries particulières de types de sols[10]. Les cartes spectrales établies à partir des données de LANDSAT ont permis de voir d'importantes délimitations ou différences entre sols qui ne sont pas discernables sur les photographies classiques en noir et blanc. S'il dispose d'une carte spectrale d'une région avant de procéder à des échantillonnages et des mesures sur le terrain, un technicien des sols peut savoir rapidement quels sont les emplacements et superficies de sols présentant des différences significatives. De telles informations diminuent fortement la quantité d'observations et le temps passé sur le terrain.

Les données et images de LANDSAT ont été efficacement utilisées comme base pour la préparation de cartes des sols semi-détaillées à des échelles comprises entre 1 : 50 000 et 1 : 250 000. Sur la base de la capacité prouvée des LANDSAT actuels, il devrait être possible de fournir à bon nombre des pays en voie de développement des cartes des sols détaillées ou semi-détaillées qu'il serait impossible d'établir dans un avenir prévisible avec les méthodes traditionnelles. Cette opération ne peut être réalisée dans les régions où une végétation tropicale dense empêche toute observation du sol, quoique certaines observations puissent être obtenues par la cartographie des types de végétation qui ont une affinité pour des types particuliers de sols.

La possibilité de superposer les données multibandes de LANDSAT sur les cartes topographiques et autres ensembles de données à deux dimensions débouche sur de nouveaux moyens d'établir des cartes d'occupation potentielle des terres et des classifications de la productivité des sols. Une bonne carte d'utilisation potentielle des terres peut aider un pays en voie de développement à choisir les régions où faire porter éventuellement en priorité un effort de développement agricole.

On prévoit pour les images de LANDSAT une utilisation importante dans les levés de reconnaissance des terres et des sols dans les pays en voie de développement. Pour un projet en cours en Tanzanie, des images de LANDSAT traitées numériquement ont été utilisées conjointement avec de nombreuses observations à petite échelle des agriculteurs locaux, et en faisant appel à un personnel de recherche sur le terrain et à des observations menées par des avions légers, pour procéder à une évaluation générale des systèmes de terrains dans le district d'Arusha à l'échelle de 1 : 250 000[11].

L'équipe de spécialistes des sols de la FAO utilise actuellement les données de LANDSAT dans le cadre d'une étude à l'échelle mondiale des délimitations des sols pour la production agricole.

En résumé, les données de LANDSAT, complétées et confirmées par des informations existantes, pourraient améliorer les bases techniques des décisions de gestion agricole sur les plans suivants :

- une meilleure planification pour faire face aux besoins alimentaires et agricoles à la suite d'une estimation améliorée des superficies cultivables dans les pays où existent sur des surfaces non négligeables des exploitations à grande échelle et à structure simple ;
- une amélioration de l'estimation des rendements par l'utilisation conjointe de satellites météorologiques et d'autres procédés d'estimation des rendements ;
- une amélioration de la planification agricole fondée sur une meilleure connaissance de la capacité des sols et des ressources en eau.

Dans le cadre d'une étude hydrologique nationale du *Mexique*, les cartes des sols au 1 : 1 000 000 visant à montrer l'emplacement et l'étendue des ressources potentielles du pays en terre arable ont été préparées pour une bonne part à l'aide de données de LANDSAT. Deux jeux de transparents en couleurs de LANDSAT couvrant la majeure partie du pays, l'un pris à la saison humide d'automne et l'autre à la saison sèche de février-mars, ont fourni la base d'un programme de cartographie qui intéresse aussi bien l'occupation actuelle des terres que les capacités des sols. L'étude de l'occupation actuelle des terres qui couvre la totalité du pays (197 000 000 d'hectares) a pris deux ans et a coûté $ 200 000 (0,1 cent par hectare). On s'est aperçu entre autres découvertes importantes que 6,3 millions d'hectares étaient dans un état d'érosion avancée. L'étude de la capacité des sols a intéressé 45 millions d'hectares et a été terminée en un an. Les cartes thématiques qui ont été tirées des données du satellite indiquent les possibilités offertes aux cultures et à l'élevage, la profondeur des sols, leur humidité, les pentes, les risques d'érosion et les possibilités d'irrigation. Le gouvernement mexicain dispose avec ces cartes d'un guide des sols considérés comme bons ou suffisamment bons pour être développés et de ceux qui méritent une étude plus approfondie. Par exemple, les cartes on montré clairement que certaines régions plantées en riz conviendraient mieux à d'autres cultures et que les sols de la côte du Golfe du Mexique seraient mieux adaptés à la riziculture[12, 13].

## Gestion des terrains de parcours

Les études menées aux Etats-Unis pour évaluer l'intérêt de la télédétection par satellite pour la gestion des terrains de parcours ont été centrées sur trois aspects : inventaire des types de végétation, évaluation de la biomasse des terrains de parcours, et surveillance des améliorations et modifications de ces terrains.

Comme les terrains traités en pâturage ouvert aux Etats-Unis sont pour la plupart arides à semi-arides, leurs différents types n'apparaissent pas tous clairement dans les données des satellites. Cela est dû au fait que la densité des plantes est faible, que leur composition est variable et que le pourcentage de couverture du sol est souvent inférieur à 50 %. Malgré ces difficultés, les LANDSAT ont fourni des données utiles pour l'inventaire des terrains de parcours aux Etats-Unis et pourraient aider les responsables de la gestion de ces ressources à décider où il faut attribuer des crédits et du temps de travail pour un inventaire plus détaillé[14, 15].

La résolution des détecteurs actuels suffit juste à identifier les grandes catégories de types de pâturages, dont l'emplacement est généralement connu aux Etats-Unis. Par contre, dans les pays en voie de développement où la répartition de ces grandes catégories est mal connue ou insuffisamment cartographiée, les données de LANDSAT pourraient fournir une utile contribution à la gestion des terrains de parcours, tant au plan régional que local, comme le montre l'exemple de la Tanzanie exposé ci-après.

Les études menées au sujet de la surveillance des terrains de parcours visent à rassembler les informations nécessaires pour améliorer la productivité. Il s'agit de données sur l'état de terrains de parcours, l'évolution et les tendances, le fait qu'ils soient prêts à être pâturés et les schémas d'utilisation.

La détection dynamique au moyen du LANDSAT des herbes annuelles qui couvrent la plupart des collines en Californie a suivi le verdoiement du paysage avec l'apparition de la saison des pluies chaque automne et chaque hiver ainsi que son passage progressif au brun avec l'apparition de la saison sèche au printemps et en été. Ce type d'information peut contribuer à déceler les risques d'incendie, à prévoir le gain de poids anticipé du bétail et à déterminer dans quelle mesure la sécheresse et le pâturage ont réduit le fourrage disponible[16].

Dans une étude particulière, les traits distinctifs des terrains de parcours que constituent les prairies, les sources, les sites humides, les zones de pacage, les mares artificielles et les réservoirs naturels de petites dimensions—jusqu'à un minimum de 1/2 hectare—ont été détectés au moyen de données de LANDSAT et des techniques d'analyse directe. Ces éléments constituent dans l'environnement des terrains de parcours des "zones" sensibles qui doivent être surveillées afin de pouvoir évaluer l'importance des pâturages qui s'y rapportent, la faune naturelle, et les possibilités qu'elles offrent à la région au sens plus étendu pour les loisirs. De plus, en analysant les images de LANDSAT à différentes dates au cours du printemps et en s'aidant de quelques photographies aériennes et observations directes sur le terrain, les analystes ont pu observer des modifications des ressources fourragères et aquatiques sur la totalité des terrains de parcours. Cette information peut contribuer à une meilleure planification de l'utilisation des ressources[17].

On n'a pas encore essayé d'utiliser les données de LANDSAT pour estimer quantitativement la valeur nutritionnelle des terrains de parcours, mais plusieurs expériences menées aux Etats-Unis et en Australie ont montré que, pour certains pâturages semi-arides, il est possible d'en dériver par la technique des "bandes contrastées" des estimation de la biomasse verte[18].

Même si les résultats des études menées aux Etats-Unis sur les terrains de parcours ont été jusqu'à présent mitigés, on en a appris assez pour montrer qu'avec des passages de satellite à la fréquence de neuf jours, avec l'utilisation des données fournies par des satellites météorologiques et avec une transmission diligente des informations aux utilisateurs, les données de LANDSAT actuelles permettent techniquement d'établir un système efficace, de haute qualité, qui rende compte de l'état des terrains de parcours, surveille son évolution et fasse des prévisions appropriées.

Outre le recensement des zones existantes ou potentielles qui nécessitent un supplément d'observations aériennes ou au sol, un système de surveillance spatiale des terrains de parcours peut servir de guide pour prendre un certain nombre de décisions importantes dans les pays en voie de développement :

- dates de rotation et de retrait du bétail dans les zones de pâturage ;
- préparation de plans visant à éviter le surpâturage et à ouvrir de nouvelles zones aux troupeaux ;
- mesures à prendre en temps opportun pour réduire les risques d'incendie ;
- crédits supplémentaires alloués à l'amélioration des terrains de parcours par drainage, irrigation, ensemencement ou engrais.

Une étude menée dans la région d'Arusha en *Tanzanie* a utilisé avec succès les données de LANDSAT pour délimiter 550 unités de terrain distinctes dans une zone de 83 000 km$^2$ sur la base de la configuration du terrain et des caractéristiques de la végétation. Quatorze types d'herbages se prêtant plus ou moins au fourrage—trois herbacés, huit broussailleux, et trois du type savane—ont été mis en lumière dans les données de LANDSAT. Avec ces délimitations, appuyées par des informations détaillées sur l'échantillonnage fourni par la photographie aérienne et des inspections sur le terrain, on a pu identifier des zones propres à l'élevage, à l'agriculture et au développement des ressources en eau[19].

## Gestion forestière

Aux Etats-Unis, le recensement et la gestion des forêts s'effectuent au moyen d'un système complexe et détaillé de photographies aériennes à différentes altitudes. Parce que les informations qui doivent être réunies d'après les

règlements nationaux sont très détaillées, et que les essences sont généralement très mélangées dans la forêt américaine, les données des LANDSAT se sont révélées inadaptées, en particulier pour les opérations d'inventaire.

Cependant, les conclusions auxquelles ont abouti différents chercheurs montrent que les données des LANDSAT pourraient aider à la gestion des forêts et contribuer à réduire les coûts des inventaires forestiers. Ces données se sont révélées utiles pour :

- les procédés d'échantillonnage pour l'estimation du volume en grumes
- la surveillance des abattages du type coupe claire
- la cartographie des régions détruites par des feux de forêt, en particulier des feux de cîmes, communs dans la partie occidentale de l'Amérique du Nord.

Des études quasi opérationnelles menées dans le nord de la Californie ont démontré que les données de LANDSAT, complétées par des échantillonnages à plusieurs niveaux, ont permis de fournir en temps opportun et à meilleur compte des inventaires du volume brut sur pied ainsi qu'un inventaire économique des ressources totales en bois, incluant les facteurs de croissance et d'état du bois. Avec les techniques manuelles et automatiques d'analyse des données utilisées au cours des mêmes études, on a pu suivre l'évolution des ressources forestières dans le temps en facilitant la localisation des estimations des surfaces d'abattage, la cartographie des zones touchées par les incendies et l'évaluation des dommages causés par le feu[20].

Un programme canadien utilisant des images de LANDSAT pour établir la carte des zones brûlées dans le Saskatchewan a permis de déceler 42 zones incendiées dans l'ensemble du nord de la province. On a ainsi obtenu beaucoup plus rapidement des images beaucoup plus précises qu'il n'aurait été possible de le faire avec des photographies prises d'hélicoptère ou d'avion[21].

Dans la plupart des pays en voie de développement, les données sur les ressources forestières sont le plus souvent sommaires et incomplètes. Il n'existe pas de systèmes complets d'inventaire forestier par photographie aérienne comme ceux que l'on trouve aux Etats-Unis et dans d'autres pays de haute technologie. Mais il est également fréquent que les impératifs en matière de données soient sensiblement moins rigoureux. Dans ces conditions, les données de LANDSAT peuvent être fort précieuses en fournissant des informations de base sur l'étendue et l'emplacement des ressources forestières ainsi que sur les changements que connaissent les terres boisées.

Les pays en voie de développement prennent de plus en plus conscience du besoin de gérer leurs ressources forestières, non seulement pour faire face à leurs besoins en bois et en énergie, mais également pour préserver leur équilibre écologique et pour empêcher l'érosion, l'envasement des barrages et

la pollution des eaux côtières. La cartographie de la végétation forestière, l'estimation du volume de bois sur pied et la mesure de la vitesse du déboisement des forêts–opérations auxquelles les données de satellites peuvent fournir d'importantes contributions–sont des étapes essentielles pour la planification des opérations conservatoires.

Au *Brésil*, les images du LANDSAT ont été utilisées pour superviser un programme de développement raisonné de vastes zones de la forêt amazonienne à des fins variées, notamment l'élevage. Les propriétaires terriens ont été autorisés, avec l'aide de fonds gouvernementaux, à abattre des arbres à concurrence d'un tiers de leurs terres. L'utilisation régulière et systématique des images LANDSAT s'est avérée la seule façon économique de faire respecter les termes des contrats d'assistance du gouvernement et de contrôler le volume des abattages.

Les tableaux 1 et 2 résument les caractéristiques marquantes des zones à structure simple et à structure complexe pour les régions agricoles, les terrains de parcours et les zones forestières, et indiquent la faisabilité des techniques de télédétection utilisées pour tirer, dans les zones ainsi définies, les informations dont ont besoin les responsables des ressources naturelles.

## Gestion des ressources en eau

La télédétection par satellite, qu'il s'agisse des satellites météorologiques, du SKYLAB ou des LANDSAT, s'est déjà révélée un outil utile pour obtenir de précieuses information hydrologiques en vue de la gestion des ressources en eau. Les informations ainsi obtenues sur les trois composants principaux de l'hydrosphère, à savoir : l'eau atmosphérique, l'eau de surface et l'eau souterrraine, ont un intérêt pratique pour la planification, la conception et la gestion des projets de mise en valeur des ressources hydrauliques, quelle qu'en soit la destination.

### Eaux atmosphériques

Les satellites météorologiques et atmosphériques ont fourni la preuve qu'ils étaient capables de délimiter la couverture nuageuse, établir le type et la persistance des nuages, mesurer la température de l'air, le rayonnement solaire et les flux d'humidité dans l'atmosphère. La connaissance de ces flux variables contribue à l'établissement d'estimations des précipitations et de l'évaporation dont on a besoin pour planifier et mettre en exécution les programmes d'irrigation et d'alimentation en eau.

TABLEAU 1 Caractéristiques des ressources végétales

| ZONES A STRUCTURE SIMPLE | ZONES A STRUCTURE COMPLEXE |
|---|---|
| *Caractéristiques agricoles* | *Caractéristiques agricoles* |
| Vastes champs cultivés de forme régulière, peu de jachères intercalées | Petits champs cultivés de forme irrégulière, avec grand nombre de jachères intercalées |
| Quasi-monocultures | Polycultures |
| Tous les champs recevant un type de végétation donné mis en culture vers la même date, les cultures se développent donc selon un schéma saisonnier pratiquement identique | Champs mis en culture d'un type donné à de nombreuses dates différentes, nombreux schémas de développement saisonnier différents |
| *Caractéristiques des forêts et pâturages* | *Caractéristiques des forêts et pâturages* |
| Forêts et pâturages en vastes blocs relativement peu intercalés | Forêts et pâturages en petits blocs très intercalés |
| Terrains plats ou en pente douce, peu de différences dues à la pente et à l'exposition | Terrains en pente forte à très très forte, nombreuses différences dues à la pente et à l'exposition |
| Faibles différences d'altitudes, donc petit nombre d'espèces et développement saisonnier quasi uniforme sur l'ensemble de la zone | Fortes différences d'altitudes, donc nombreuses espèces et grandes variétés du développement saisonnier sur l'ensemble de la zone |

**Eaux de surface**

Les données de LANDSAT se sont révélées particulièrement fiables pour la localisation des eaux de surface. L'un des canaux du spectre (la bande 7) fait ressortir si clairement le contraste entre l'eau et les autres surfaces au sol que les plans d'eau de plus de quatre hectares peuvent être identifiés avec une précision de 99 %[22]. Avec l'aide de programmes sur machine, il est désormais possible d'établir des cartes faisant apparaître les plans d'eau d'au moins 2,5 hectares dans la plupart des pays du monde[23].

Pour les régions où il n'existe pas de cartes suffisantes des bassins hydrologiques, LANDSAT peut dans de nombreux cas fournir des données sur les systèmes de cours d'eau avec une précision très proche de celle des cartes topographiques. Dans certains cas, LANDSAT ne peut à lui seul fournir des données acceptables, mais, utilisé conjointement avec des cartes topographiques faisant apparaître les limites des bassins, il peut donner aux

TABLEAU 2 Faisabilité des techniques de télédétection pour obtenir les informations requises par les responsables du développement et de la gestion des ressources végétales.

| Agriculture, Pâturages, Forêts — Végétation | Faisabilité* | |
|---|---|---|
| | Dans une zone à structure *simple* | Dans une zone à structure *complexe* |
| 1. Type de cultures, de pâturages ou de bois | ++ | + |
| 2. Vigueur des cultures, des pâturages ou bois | + | + |
| 3. Identité des agents nuisibles | + | - |
| 4. Rendement par unité de terrain | + | + |
| 5. Superficies occupées par chaque type de culture, fourrage ou bois et détermination de son état | ++ | + |
| 6. Humidité disponible dans le sol | -+** | - |
| 7. Eléments nutritifs disponibles dans le sol, par type | - - | - - |

*Il sera parfois nécessaire, pour parvenir aux faisabilités notées, d'avoir des résolutions meilleures que celles des LANDSAT 1 et 2. Toutefois, ces faisabilités peuvent être raisonnablement escomptées de la technologie de la future génération actuellement à l'étude (voir chapitre V). Les notes du tableau s'appliquent actuellement dans tous les cas à la photographie aérienne.
++ = peut généralement être déterminé directement par la télédétection après quelques travaux préliminaires d'étalonnage au sol. Peut nécessiter toutefois une double détection multibandes et multi-données.
+ = peut être déterminé suffisamment souvent par la télédétection pour être utile pour ce type de la végétation ; pourra toutefois nécessiter l'utilisation poussée des techniques multibandes, multi-données, à plusieurs niveaux d'observation et de contrastes.
- = peut être déterminé à l'occasion par télédétection, mais pas d'une façon suffisamment régulière ni fréquente pour que cette technique soit utile pour cet aspect de l'analyse de la végétation.
- - = ne peut être déterminé par la télédétection, même si les responsables des ressources végétales ont un grand besoin de ce type d'information.
**Avec l'appoint des données de satellites météorologiques et des méthodes statistiques.

responsables des ressources hydrauliques des informations pertinentes sur l'utilisation des terres et la végétation dans de meilleures conditions de qualité, de coût et de périodicité que ne le permettent d'autres moyens d'information. Il est plus facile de déterminer si un fleuve a un débit continu ou intermittent, question souvent d'une grande importance, en analysant la couverture répétitive des LANDSAT qu'en organisant de nombreux vols d'avion.

Les images des LANDSAT peuvent servir à étudier les caractéristiques d'un bassin versant qui affectent le ruissellement. A l'occasion d'une expérience menée en 1973, on a pu établir des corrélations significatives entre les valeurs intégrées de la réflectance d'un bassin fournies par LANDSAT d'une part, l'état réel d'un bassin versant et les quantités effectives de ruissellement d'autre part, dans des zones de végétation dormante et de sécheresse de l'Oklahoma[24]. Cela laisse entendre qu'il serait possible, dans les bassins versants arides ou semi-arides de pays en voie de développement, de tirer des données fournies par les LANDSAT et les satellites météorologiques existants des renseignements très précieux pour la prévision du ruissellement. Des études menées récemment en Colombie et au Venezuela témoignent de l'intérêt des données fournies par les satellites météorologiques synchrones pour améliorer les prévisions de ruissellement et choisir de façon efficace et économique l'emplacement des stations hydrométéorologiques[25,26].

De nombreuses études menées aux Etats-Unis ainsi que dans divers autres pays ont démontré l'efficacité des données de LANDSAT pour délimiter les zones inondables, au moins dans les grands bassins hydrologiques où les crues durent suffisamment longtemps pour être observées au cours d'un cycle de 18 jours de LANDSAT, ou encore lorsque la trace de leur passage peut être relevée[27]. Par exemple, les données du satellite permettent de distinguer nettement les terres cultivées inondables du bassin de l'Indus au Pakistan des zones semi-arides inondées et du désert proprement dit[28].

Dans de nombreuses parties du monde, l'eau disponible provient de la fonte des neiges. LANDSAT 1 a démontré qu'il était capable de déterminer la limite des neiges et l'étendue du manteau neigeux avec une précision égale à 5 % près à celle des mesures aériennes ou autres[29]. La dimension moyenne du manteau neigeux multipliée par sa profondeur et sa densité représente la réserve d'eau qui peut être disponible pour l'alimentation en eau, la production d'électricité, la navigation et l'irrigation, ou qui risque de fondre brutalement en provoquant des inondations en aval.

LANDSAT a permis de rassembler les données nécessaires, au niveau de la reconnaissance, pour la conception et l'exploitation de programmes d'irrigation à grande échelle et pour la conception d'un grand système de captage des eaux[30]. Des études fondées sur les données de LANDSAT ont débouché sur des résultats significatifs utilisés comme données d'entrée de modèles mathématiques de la demande en eau et de l'écoulement des eaux de surface dans le comté de Kern en Californie. Ces études d'une région désertique ont permis de recenser les zones cultivées avec la même précision, à 1 % près, que l'inventaire aérien, et avec des niveaux acceptables d'identification des cultures. Les données LANDSAT sont désormais utilisées régulièrement pour l'évaluation du rapport offre/demande en eau dans cette région[31].

**Eaux souterraines**

Il est possible de dériver des données fournies par les détecteurs multibandes des informations géologiques sur les nappes d'eaux souterraines.

En effet, les données des LANDSAT peuvent fournir des informations sur la lithologie en surface, les schémas des fractures, et les indicateurs végétaux et géomorphiques des couches aquifères peu profondes. Convenablement interprétées, ces informations peuvent servir de base à l'exploration et à la stratégie de la prospection des eaux souterraines[32,33]. D'après des études récentes, elles sont utiles pour situer les sources peu profondes et peuvent donc constituer un outil économique pour améliorer l'exploration des eaux souterraines dans les régions semi-arides[34]. Les images de LANDSAT ont mené à l'identification de cônes d'éboulis pouvant contenir de très importants réservoirs souterrains. Un cône d'éboulis dont la superficie est sensiblement égale à celle de l'Irlande a été décelé dans les images LANDSAT du Brésil occidental[35].

En résumé, les données des satellites de ressources terrestres, correctement traitées et interprétées, et utilisées conjointement avec des données connexes provenant d'autres sources, peuvent fournir d'utiles informations hydrologiques et physiques en général afin d'améliorer la gestion des ressources en eau sur les plans suivants :

- Améliorer la régulation des réservoirs pour rendre plus efficaces la production hydro-électrique, la lutte contre les inondations et l'alimentation en eau sur la base d'une meilleure prévision de la fonte des neiges et du ruissellement.
- Améliorer la planification de la distribution régionale des eaux sur la base d'une meilleure surveillance des quantités d'eau de surface et de l'humidité des sols.
- Affiner les décisions relatives à la gestion de l'irrigation des cultures du fait d'une meilleure connaissance des quantités d'eau fournies et consommées.
- Localiser de façon plus efficace et plus économique les sources souterraines peu profondes en vue de recueillir leurs eaux, par une interprétation correcte des informations géologiques fournies par satellites.

Deux séries d'images LANDSAT prises à 5 semaines d'intervalle ont fourni une contribution importante à une étude menée à plusieurs niveaux de la crue annuelle du bassin inférieur des rivières Magdalena et Cauca dans le nord de la *Colombie*. Les images successives ont permis de classer les lacs bordant ces rivières en fonction de leur rôle régulateur de la crue et des possibilités de les utiliser comme bassins de retenue. Les images LANDSAT

ont été particulièrement utiles en mettant en évidence les lacs qui assèchent dans l'intervalle de 5 semaines. Les données LANDSAT, complétées par des photographies aériennes et des images de radar aéroporté à ouverture latérale (SLAR), ont fourni les informations dont les planificateurs colombiens avaient besoin pour déterminer le moyen le plus efficace de mettre des terres en valeur dans la partie inférieure des zones inondables[36].

## Etudes géologiques et exploration pétrolière et minière

L'application à la géologie des données de télédétection spatiale se scinde en deux grandes catégories, d'une part l'étude des phénomènes essentiellement statiques comme la distribution, le caractère et la structure des masses rocheuses, et d'autre part celle des phénomènes dynamiques, notamment ceux qui sont associés aux tremblements de terre et aux processus de transformation du littoral.

Pour l'observation des phénomènes statiques, l'un des meilleurs atouts des données fournies par les satellites tient tout simplement à la grande distance d'où la Terre est observée, et donc à l'importance de la surface couverte par une seule observation ou photographie. Quelques images de LANDSAT suffisent à embrasser toute une chaîne de montagnes, quelques centaines des continents entiers. Les images de LANDSAT donnent ainsi une vue du tissu géologique des continents à l'échelle des théories modernes de la tectonique des plaques. Des éléments de structure, parfois irréguliers ou même discontinus dans les limites d'une zone plus petite, peuvent se révéler être des linéaments discernables à l'échelle régionale, voire quasi continentale, et des types de roches remarquables seront suivis à la trace loin du point où ils ont été identifiés initialement. Les géologues peuvent suivre de telles caractéristiques tout au long d'un faisceau de plis sans avoir à assembler une multitude de photographies qui diffèrent par l'échelle, l'exposition, l'angle d'éclairement et la qualité de définition. Ces caractéristiques, dont l'importance géologique sera sans doute plus ou moins grande, peuvent souvent être observées dans des terrains arides ou bien exposés par un simple examen visuel de l'image brute ; mais la détection risque d'être difficile, voire impossible, même avec une augmentation des contrastes, lorsque les terrains sont situés à basse altitude et couverts de végétation.

L'observation spatiale de phénomènes statiques a deux applications pratiques : améliorer la cartographie géologique et rendre plus efficace la prospection des ressources. Il est indispensable d'avoir de bonnes cartes géologiques pour implanter correctement les grands travaux publics : chemins de fer, routes, barrages, centrales. Même aux Etats-Unis, les données fournies par satellite ont permis de compléter et de préciser les cartes géologiques existantes et de déceler des failles ignorées jusque là[37].

La contribution du Service géologique des Etats-Unis au Projet de cartes circumpacifiques, intéressant 35 pays, a démontré l'intérêt des données LANDSAT pour évaluer la précision des cartes géologiques existantes et pour augmenter le nombre des détails[38].

Dans certains pays en voie de développement, les cartes géologiques qui ont été établies à l'échelle nationale ou régionale à l'aide de données LANDSAT beaucoup plus rapidement et efficacement qu'il n'aurait été possible de le faire par les moyens habituels fournissent maintenant une base solide pour la planification géographique des projets de développement. Toutefois, avant de prendre une décision sur le choix des sites, les données de satellite sur la géologie, la topographie et l'hydrologie d'une région doivent être complétées par des renseignements plus détaillés fournis par des méthodes classiques : photographie aérienne et études au sol.

L'application de la télédétection à la géologie, en particulier à l'exploration minière, remonte à plusieurs dizaines d'années ; elle a commencé avec la mise au point de la photographie aérienne, s'est poursuivie avec les adaptations à l'avion des instruments de mesure magnétique, gravimétrique et radiométrique, et a culminé par l'installation de différents détecteurs sur des satellites. Toutes ces techniques continuent d'être utilisées et certaines, comme le magnétomètre aéroporté, sont sans équivalent pour des objectifs spécifiques. Les informations fournies par des instruments de télédétection spatiale suffiront rarement à localiser directement des ressources minières*. Mais elles ouvrent des horizons plus étendus à la réflexion du géologue, prospecteur ou spécialiste régional.

Le LANDSAT a permis par exemple d'obtenir des images synoptiques, pratiquement exemptes de distorsion, de régions montagneuses à haut relief comme l'Himalaya, les Alpes et la Cordillière des Andes[41,42]. De telles images contribuent à mieux connaître la genèse des formations minérales.

La localisation d'éléments géologiques particuliers servira généralement de guide pour choisir des cibles plus petites qui méritent une étude plus poussée comme zones de ressources potentielles, en particulier si l'interprétation est faite par un analyste expérimenté et familier de la région. Ces zones cibles plus petites peuvent être encore circonscrites par renforcement des contrastes de l'image ou analyse sur calculateur des données multibandes, ce qui ne manque pas de réduire le temps et l'argent consacrés à la recherche sur le terrain. Ce travail peut être encore affiné si l'on utilise des données recueillies à différentes périodes de l'année pour tirer parti des détails que révèlent les différences saisonnières de végétation ou d'humidité du sol. Mais d'une façon

*Les détecteurs peuvent néanmoins enregistrer une minéralisation à la surface. Par exemple, certains oxydes de fer, qui témoignent de la présence éventuelle d'autres minerais métalliques, peuvent être identifiés après un traitement sur calculateur[39,40].

générale, un fort pourcentage des informations potentielles sur les phénomènes statiques peuvent être obtenues d'un seul passage sur la zone choisie, s'il n'y a pas de couverture nuageuse.

En éliminant les régions qui ne semblent pas mériter un effort supplémentaire de prospection, les données de satellite permettent d'identifier les zones où des études plus détaillées par avion et par travail au sol peuvent être rentables. Plusieurs découvertes de gîtes minéraux dans différentes parties du monde ont été facilitées par l'analyse de scènes de LANDSAT.

L'autre grand secteur d'applications relève des phénomènes dynamiques. L'intérêt particulier des mesures prises par satellite tient au caractère répétitif des observations qui permet de détecter des modifications à brève échéance, par exemple le cours d'un fleuve à la suite d'une grande crue ou l'aspect d'un littoral après un ouragan. Ainsi, les images de LANDSAT ont permis aux scientifiques du Bangladesh de voir et de mesurer l'accroissement par alluvionnement d'îles du Golfe du Bengale, ouvrant la voie à un programme gouvernemental de plantations d'arbres et de stabilisation des nouvelles terres à des fins agricoles. Des études menées en Islande ont montré que LANDSAT permet de cartographier les effets à la surface de l'intense activité volcanique et géothermique de l'île.

En résumé, l'expérience acquise avec les données fournies par satellite, tant aux Etats-Unis que dans d'autres pays, montre que les pays en voie de développement peuvent faire usage de ces données dans le domaine géologique pour les objectifs suivants :

- Etablir des cartes géologiques de régions où il n'en existe pas encore et vérifier l'exactitude et la précision des cartes existantes.
- Déceler les caractéristiques structurelles et géologiques à grande et à moyenne échelle, et établir entre elles des corrélations même lorsqu'elles sont séparées par de vastes distances.
- Fournir des données préliminaires pour la planification des projets de transport, de communications, d'irrigation, d'installations énergétiques et industrielles.
- Choisir les zones à ressources géologiques potentielles, méritant une étude plus détaillée par observation aérienne et sur le terrain.
- Servir de base à des études spécialisées, en géochimie des fleuves par exemple.
- Donner l'occasion de surveiller, du fait du caractère répétitif, les caractéristiques géologiques transitoires ou modifiables, notamment variations du cours des fleuves et des dunes de sable.

Partant d'une carte de classification des roches établie par traitement numérique de données LANDSAT, 30 terrains prometteurs ont été choisis au *Pakistan* à proximité de gisements de cuivre connus. Sur les 19 points

visités, 5 ont fourni des preuves de minéralisation en surface, témoignant de la possibilité d'une zone enrichie en cuivre en profondeur[43].

L'*Egypte*, qui avait en projet la réalisation au moyen de photographies aériennes noir et blanc d'une nouvelle carte géologique au 1 : 1 000 000, représentant dix ans de travaux et 2,4 millions de dollars, a modifié ses plans lorsque les images de LANDSAT se sont révélées d'un meilleur usage. En effet, ces dernières fournissent environ trois fois plus de détails géologiques et peuvent réaliser ce travail plus rapidement et à moindres frais. En 3 ans, des cartes couvrant environ la moitié du pays étaient terminées, et deux années supplémentaires devraient suffire pour achever la tâche.

## Cartographie

L'analyseur à balayage multibande du LANDSAT a démontré des possibilités en cartographie qui vont bien au-delà des prévisions initiales. Les images MSS ont plusieurs caractéristiques qui leur permettent de fournir une contribution notable à la cartographie à grande échelle des Etats-Unis et qui en feront probablement le moyen actuellement le plus efficace d'avoir un portrait d'ensemble du pays[44]. Au nombre de ces caractéristiques figurent :

- l'uniformité des vues sur une zone étendue
- un angle de visée quasi orthogonal (vertical)
- la fidélité géométrique et radiométrique
- une remarquable définition de certaines caractéristiques naturelles
- la capacité d'être transformées en produit cartographique fini en temps "quasi réel", celui d'acquérir les données.

Les images de LANDSAT contribuent à corriger et à mettre à jour certaines caractéristiques des cartes existantes des Etats-Unis au 1 : 250 000 ou à échelle plus petite avec une précision identique ou presque à celle des normes nationales[45]. Avec les images multibandes, il est possible d'établir des transparents photographiques au 1 : 250 000, exactement superposables sur des cartes classiques au trait antérieures. Les données nouvelles fournies par le transparent permettent d'observer l'évolution de phénomènes comme le développement urbain et les transformations des réseaux de transport. A l'aide des images de LANDSAT et des nouvelles techniques de mosaïque, le service géologique des Etats-Unis a établi une nouvelle carte de la Floride qui est la première mosaique couleur en forme de carte ayant une qualité d'image uniformément élevée.

Un nouveau type de cartes à petite échelle est désormais réalisable du fait que la bande 7 de LANDSAT possède la capacité exclusive de faire ressortir les limites entre la terre et l'eau. Elle peut définir des plans d'eau dont le

diamètre n'excède pas 200 m avec une très grande fiabilité et identifier des cours d'eau de 20 à 50 m de large à la condition qu'ils ne soient pas surplombés par des arbres. Cette capacité est particulièrement précieuse pour mettre à jour les cartes des estuaires et pour tracer les contours des lacs intérieurs[46,47].

Les détecteurs des LANDSAT actuels peuvent traverser des eaux limpides jusqu'à une profondeur d'environ 10 m. Dans la Mer des Caraïbes, les données de LANDSAT 1 ont mis en évidence des hauts fonds inconnus jusque là[48].

Les cartographes se sont aperçu que les analyseurs à balayage de LANDSAT peuvent fournir, pratiquement sans distorsion, une image à peu près continue selon une projection cartographique définie. Les séries d'images LANDSAT, caractérisées par leur couverture répétitive uniforme, peuvent ainsi servir de base à un système de cartographie photographique "automatisé" de l'ensemble de la Terre[49].

Dans les pays en voie de développement, LANDSAT paraît extrêmement prometteur pour la cartographie. Plus de la moitié de la superficie de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique latine n'a pas encore été cartographiée à des échelles plus petites que 1 : 1 000 000 et, pour le reste, beaucoup de cartes de base sont périmées. Avec les données de LANDSAT, il est désormais possible de cartographier rapidement et économiquement les régions peu connues, de mettre à jour les cartes existantes avec une précision acceptable et de prendre à bon escient des décisions sur les zones qui nécessitent des images par avion à plus haute résolution. Plusieurs pays d'Amérique du Sud utilisent actuellement des images LANDSAT pour réviser leurs cartes à grande échelle et à échelle moyenne[50].

Ces pays ont également besoin de mettre à jour fréquemment leurs cartes en ce qui concerne les caractéristiques géographiques susceptibles de se modifier. Par exemple, les caractéristiques spectrales et temporelles des données LANDSAT sont particulièrement précieuses pour définir les limites entre la terre et l'eau dans des pays à vastes deltas (Egypte, Bangladesh, Iran) ou possédant des lacs de drainage peu profonds (Iran).

On l'a déjà noté, les données multibandes peuvent être traitées pour établir des cartes thématiques qui fournissent un grand nombre de classifications de données sur les ressources naturelles.

La *Bolivie*, où des parties notables du territoire sont encore insuffisamment cartographiées, utilise actuellement des images LANDSAT pour remédier à ce manque. Une carte générale du pays au 1 : 1 000 000 a déjà été publiée après mise à jour. Une carte plus détaillée, au 1 : 500 000, de la région de Coipasa, a également été publiée aux normes de précision du Service cartographique des Etats-Unis. Les données LANDSAT ont permis d'établir la première carte géomorphologique du pays et de corriger une carte tectonique publiée récemment. Les cartes au 1 : 250 000 en cours de réalisation serviront de base à un inventaire des ressources naturelles de la

Bolivie, notamment les sols, forêts, et zones prometteuses pour la prospection minière et pétrolière. Grâce aux données des LANDSAT, un travail qui devait durer 8 ans sera désormais réalisé en 2[51].

## Occupation des sols—Aménagement du territoire

Les images de LANDSAT ont fourni la preuve de leur utilité pour l'aménagement régional et la surveillance de la transformation des terres le long des franges urbaines. Toutefois, les urbanistes, qui s'intéressent à la disposition et à la répartition des petites unités territoriales caractéristiques du tissu urbain, ont en général besoin des images à très haute résolution que seules peuvent fournir actuellement les photographies aériennes.

Par contre, les responsables de l'aménagement au niveau national et régional sont soucieux de mettre à jour fréquemment les transformations à plus grande échelle de la nature de l'occupation des sols—par exemple, dans quelle mesure des terrains agricoles cèdent le pas aux logements ou le rythme du déboisement.

Aux Etats-Unis, les images de LANDSAT 1 ont permis de faire la distinction entre les grandes catégories, forêts, lacs et cours d'eau, et zones urbanisées, avec un degré de précision en général égal ou supérieur à 90 %. A l'exception des zones urbanisées et construites, des catégories plus détaillées (par exemple, distinction entre espèces caduques et persistantes) ont été en général identifiées avec une précision de 80 à 85 %[52]. Pour certaines études, des images prises à différentes saisons ont abouti, après un traitement numérique, à une identification plus précise[53].

Pour les applications actuelles de l'occupation des sols, les données de satellites ne peuvent se substituer intégralement à la photographie aérienne, mais elles peuvent la compléter utilement. En ce qui concerne notamment la planification régionale, la vue d'une "scène" prise par satellite peut servir de base de reconnaissance sur laquelle les spécialistes peuvent repérer les zones critiques ou celles en évolution rapide pour lesquelles les renseignements plus détaillés nécessaires pourront être obtenus par photographie aérienne.

Il est à prévoir que les satellites de ressources terrestres joueront un rôle croissant sous forme de mises à jour périodiques des données de base obtenues à l'origine par les techniques cartographiques traditionnelles. Les planificateurs disposent pour la première fois d'un système d'acquisition de données sur l'occupation des sols qui peut être révisé constamment avec un degré de précision compatible avec celui des mises à jour statistiques établies pour les données économiques et démographiques entre recensements décennaux. Le traitement sur calculateur des bandes LANDSAT permet d'incorporer ces informations dans des banques de données dont l'emploi se développe rapidement et d'où les intéressés pourront extraire des informations

sociales, économiques et relatives aux ressources qui proviennent d'une grande variété de sources.

Les planificateurs des ressources dans plusieurs gouvernements d'Etats de la Fédération commencent à utiliser les données de LANDSAT pour les projets à grande échelle relatifs aux transports, aux loisirs et à l'environnement[54,55].

Les pays en voie de développement ont de plus en plus besoin d'informations détaillées sur l'occupation des sols s'ils ne veulent pas être pris de vitesse par les changements. Si ces données devaient être acquises par les moyens traditionnels, les investissements nécessaires sous forme de couverture aérienne et de photo-interprétation seraient supérieurs aux possibilités financières de la plupart des pays et exigeraient plus de personnel spécialisé qu'ils n'en disposent en général. C'est pourquoi les données fournies par satellite acquerront sans doute une importance vitale pour la planification des ressources en terres dans les pays où la rapidité de la croissance démographique et le développement de l'habitat entraînent des modifications notables dans les relations entre l'homme et la terre.

L'analyse comparative de deux jeux de scènes de LANDSAT couvrant l'Etat d'Orissa en *Inde* a fourni une masse importante d'informations sur l'occupation des sols, lesquelles ont un intérêt immédiat pour les responsables de la gestion des ressources et de la planification agricole dans cet Etat. Les premières images, 8 scènes prises en 1973 au cours de la saison sèche, ont été étudiées avant tout pour localiser les zones où l'on fait actuellement et où l'on pourrait faire deux récoltes de riz par an, mais également pour identifier le plus grand nombre de catégories d'occupation des sols possible. Des pédologues, forestiers et géologues indiens, formés par une équipe de la Banque mondiale à l'interprétation des images de satellite par les méthodes d'étude sur le terrain, ont réussi à reconnaître environ la moitié des 30 catégories souhaitées. Douze nouvelles scènes de LANDSAT ont été prises tandis que le groupe de "vérité-terrain" ainsi formé travaillait sur place à la fin de la mousson de 1975 afin de repérer des "sites d'entraînement" relativement purs pour chacune de ces catégories avec l'aide de jeeps, d'hélicoptères et d'avions. La classification "révisée" des nouvelles images réalisée aux Etats-Unis a permis de recenser 23 catégories (voir Tableau 3). Les deux jeux de scènes de LANDSAT ont mis en lumière les différences entre les schémas agricoles de la saison sèche et de la saison humide et ont permis de repérer des zones prometteuses pour passer à un système de double récolte avec irrigation. Les données de LANDSAT ont également indiqué quelles zones convenaient à l'implantation de barrages, ont montré l'étendue des coupes forestières dans les hautes terres et les régions côtières, ont fourni de nouvelles bases pour vérifier la précision des estimations de superficies cultivées faites par les moyens traditionnels, et ont montré les modifications du cours de la rivière Mahanadi et de ses affluents depuis l'époque des derniers levés topographiques, 20 ou 30 ans plus tôt, ainsi que les grandes lignes des déplacements des cordons littoraux, barres de sable et îles le long de la côte.

Voir les planches couleur et le texte explicatif pages 91-94.

TABLEAU 3 Catégories révisées de couverture du sol, définies et délimitées à partir d'images prises en saison humide de 3 districts de l'Etat d'Orissa, Inde, par LANDSAT, 18-21 novembre 1975.*

| *Types de couverture/Végétation* | | *Balasore* | | *Bolangir* | | *Cuttack* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *km²* | *%* | *km²* | *%* | *km²* | *%* |
| Eaux | Non précisées/Ombres de falaises et nuages | 14,13 | 0,3 | 48,28 | 0,6 | 30,32 | 0,3 |
| | Océans, lacs profonds/Courants côtiers | 64,69 | 1,1 | 53,28 | 0,6 | 115,49 | 1,1 |
| | Rivières/Lacs | 0,18 | – | 1,80 | – | 51,57 | 0,5 |
| | Eaux turbides peu profondes | 89,21 | 1,6 | 70,81 | 0,8 | 417,87 | 4,1 |
| | Marécages et marais | 63,58 | 1,1 | 33,59 | 0,4 | 213,59 | 2,1 |
| Céréales et légumineuses | Légumineuses/Riz de hautes terres/Dry farming | 877,38 | 15,6 | 1 606,23 | 18,3 | 2 553,19 | 25,0 |
| | Zone à 1 récolte de riz | 2 709,35 | 48,0 | 2 607,81 | 29,8 | 2 797,16 | 27,4 |
| | Zone à 2 récoltes de riz/et Autres cultures | 104,92 | 1,9 | 231,04 | 2,6 | 226,15 | 2,2 |
| | Zone à 2 récoltes de riz | 444,46 | 7,9 | 1 277,44 | 14,6 | 845,30 | 8,3 |
| Autres cultures | Jachère/Végétation non identifiée | 38,09 | 0,7 | 162,38 | 1,9 | 76,92 | 0,8 |
| | Herbages | 188,01 | 3,3 | 181,50 | 2,1 | 347,70 | 3,4 |
| | Roseaux/Canne à sucre/Plantes riveraines | 211,34 | 3,7 | 458,15 | 5,2 | 218,91 | 2,1 |
| | Pal·niers/Horticulture, polyculture | 45,48 | 0,8 | 62,36 | 0,7 | 342,23 | 3,4 |
| Forêts | Forêts mixtes de hautes terres/Diptocarpes | 190,96 | 3,4 | 651,35 | 7,4 | 468,37 | 4,6 |
| | Forêts mixtes de basses terres/Mangroves | 228,97 | 4,1 | 849,08 | 9,7 | 597,31 | 5,9 |
| | Ombres de collines et falaises | 55,17 | 1,0 | 217,83 | 2,5 | 103,30 | 1,0 |
| | Conifères, casuarinas/Taillis | 57,61 | 1,0 | 135,24 | 1,5 | 243,93 | 2,4 |
| Autres | Sables/Déserts de sel | 20,29 | 0,4 | 48,12 | 0,5 | 295,15 | 2,9 |
| | Vasières/Terrains alluviaux | 213,28 | 3,8 | 44,82 | 0,5 | 215,82 | 2,1 |
| | Zones urbanisées/industrielles | 21,95 | 0,4 | 15,02 | 0,2 | 43,07 | 0,4 |

*Les premières comparaisons du décompte des pixels pour chaque district font apparaître une marge d'erreur de 2,9 à 5,8 % par rapport aux chiffres officiels du gouvernement de l'Inde pour cette zone (Ministère de l'information et de la radiodiffusion, Bureau des statistiques et de l'économie, Orissa). La précision des mesures de superficies par catégorie d'occupation des sols est en cours de vérification sur le terrain. Source : Banque mondiale.

## Démographie

Aux Etats-Unis, les applications des données de LANDSAT à la démographie ont été étudiées sous la rubrique générale des enquêtes sur l'occupation des sols. Dans la mesure où des catégories de classification urbaine peuvent être mises en évidence, il est possible d'assigner une densité démographique à chaque catégorie sur la base de sondages réalisés soigneusement sur le terrain. L'Institut fédéral de la statistique démographique travaille avec les données numériques fournies par les LANDSAT pour vérifier la validité de cette application. Les données actuelles de LANDSAT sont utiles pour repérer de nouvelles zones urbanisées et pour tracer les limites entre zones urbaines et rurales. On suppose d'une façon générale qu'il faudra une meilleure résolution géométrique pour classer de façon sûre les catégories urbaines.

Dans de nombreux pays en voie de développement, le problème, en matière de recensement démographique, n'est pas seulement d'évaluer les augmentations de la croissance urbaine, mais de déterminer le nombre, l'emplacement et la densité de population des villages, anciens et nouveaux. Etant donné que la plupart des habitats villageois couvrent plus d'un acre (0,4 ha : dimension approximative de chaque pixel qui s'inscrit sur un détecteur de LANDSAT), les données de satellites peuvent constituer une meilleure base d'estimation du chiffre de la population rurale que tout système de dénombrement utilisé jusqu'à présent dans les pays où les villages agglomérés sont la règle. Dans les pays où l'habitat rural est plus dispersé, les données de LANDSAT peuvent fournir des informations sur les schémas d'occupation des sols, d'où il est possible de déduire la densité de la population avec une certaine précision. Des études visant à mettre au point des techniques d'échantillonnage appropriées ont été entreprises dans plusieurs pays d'Asie et d'Afrique. Les premiers résultants semblent prometteurs[5 6].

Dans le cadre d'études financées par l'AID en Bolivie et au Kenya, l'Institut fédéral de la statistique s'efforce de déterminer par quels moyens les images de LANDSAT peuvent être appliquées aux opérations démographiques de recensement et d'enquêtes par sondage ainsi qu'aux estimations démographiques basées sur des mesures des villages et des interprétations de l'occupation des sols. L'étude intéressant la Bolivie a eu lieu avant, pendant et après un recensement national entrepris par le gouvernement du pays. La simultanéité de l'étude et du recensement permettra d'éprouver l'intérêt des données de LANDSAT pour les travaux préparatoires à un recensement et la vérification a posteriori de la précision de celui-ci.

## Protection de l'environnement

Des études ont été menées en vue de déterminer l'intérêt éventuel des données de LANDSAT pour la surveillance de l'environnement. Pour certaines

(Suite du texte, page 96)

PLANCHE COULEUR I : Illustration d'un traitement de données sur calculateur.

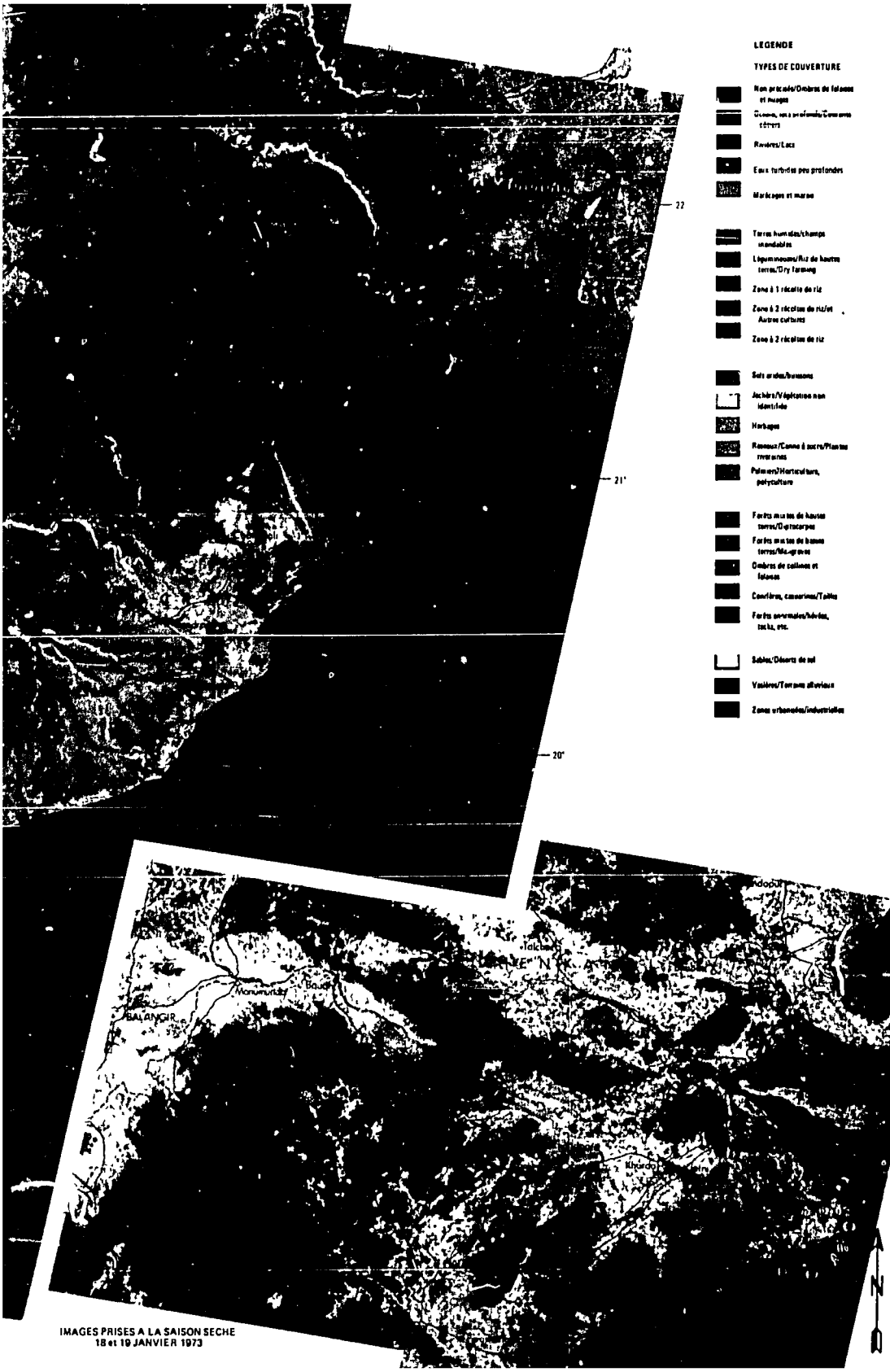
Cette mosaïque associant la couverture du sol et l'occupation des terres dans l'Etat d'Orissa, Inde, montre le type d'informations détaillées que l'on peut obtenir avec un traitement de bandes de données LANDSAT sur un calculateur spécialisé. Il s'agit d'une réduction très poussée d'une "carte mosaïque, mesurant approximativement 1 $m^2$ à l'échelle de 1:250 000, sur laquelle ont été reportées par transparence les routes, voies ferrées, agglomérations et subdivisions politiques de l'Etat, difficilement visibles à l'oeil nu dans un si petit format. La mosaïque est composée de 13 "scènes" de LANDSAT, couvrant chacune une superficie d'environ 26 000 $km^2$ et prises au cours de survols du satellite pendant 4 jours consécutifs immédiatement après la mousson, juste avant la récolte du riz, principale production agricole de l'Etat. La mosaïque incluse dans le coin inférieur droit n'englobe que des fragments de 3 "scènes", avec le delta de la rivière Mahanadi, et est prise au cœur de la saison sèche ; la deuxième récolte de riz, obtenue uniquement par irrigation, y apparaît clairement en vert foncé.

Chaque scène de LANDSAT, incluant près de 8 millions de signaux réfléchis distincts, a été classée en 23 associations couverture du sol-utilisation des terres sur le système de calcul M-DAS de Bendix. Il a fallu au préalable procéder à une vérficiation poussée du terrain par observation aérienne et études au sol de douzaines de sites différents. Chaque scène a été corrigée géométriquement sur calculateur et transformée en film sur un enregistreur à tambour, après quoi les données cartographiques y ont été portées par superposition. Des agrandissements positifs ont été ensuite réalisés sur film Cibachrome de haute définition, et les subdivisions politiques y ont été portées par un procédé numérique afin de déterminer les superficies de rizières, dry-farming, canne à sucre, herbages et forêts de divers types, etc. pour chacun des 13 districts de l'Orissa. On trouvera au Tableau 3 un exemple des données statistiques sur l'utilisation des terres ainsi obtenues pour 3 districts échantillons. En mesurant les surfaces des différents types de cultures ou de forêts, on pourra déterminer plus facilement les rendements des récoltes et les richesses forestières pour l'avenir.

# ETAT D'ORISSA, INDE

## ASSOCIATION COUVERTURE DU SOL-UTILISATION DES TERRES

PREPARE PAR LA BIRD




IMAGES PRISES A LA SAISON SECHE
18 et 19 JANVIER 1973

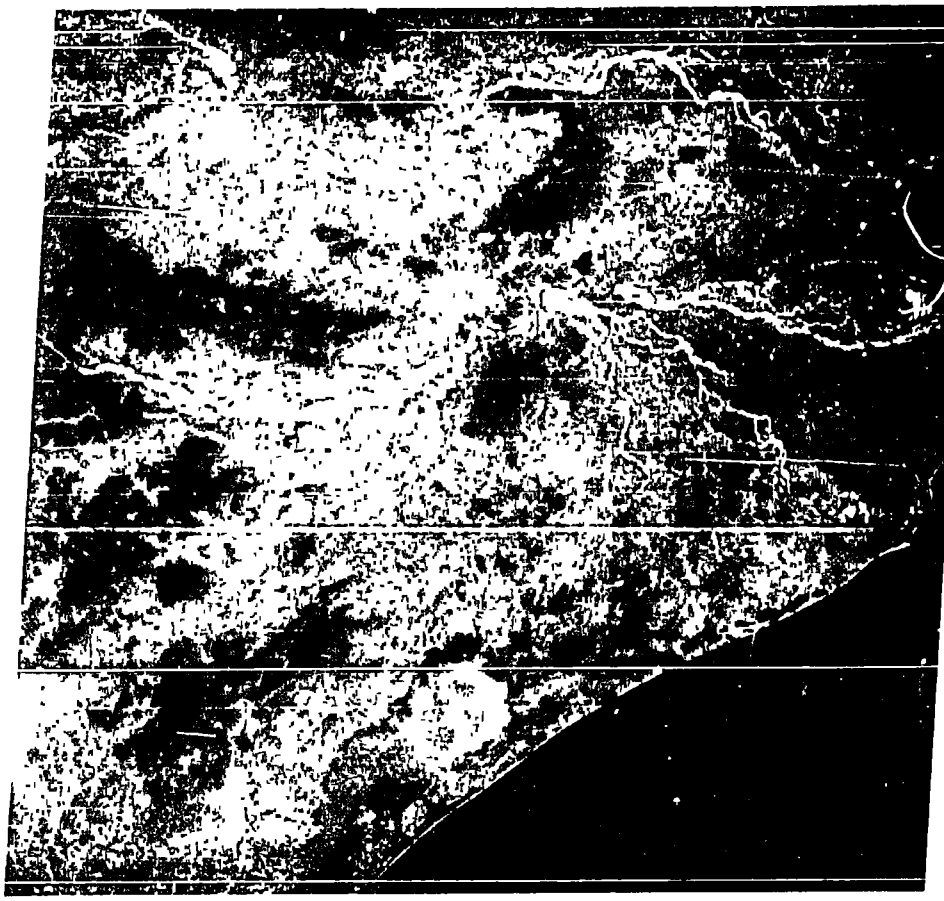
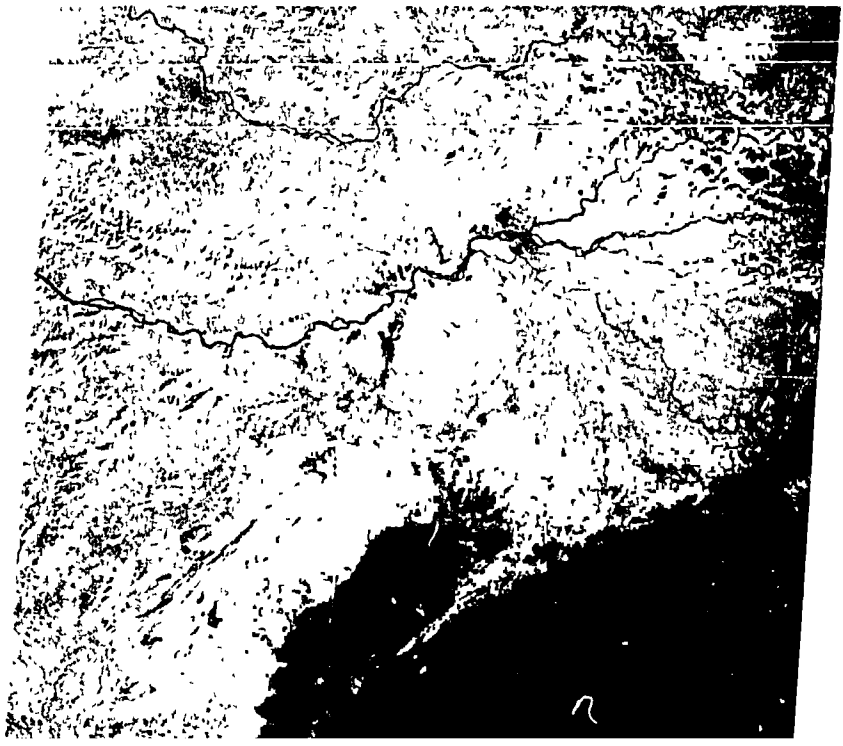


PLANCHE COULEUR II Illustration du traitement de films

Ce composite couleur d'une "scène" LANDSAT, couvrant 26 000 km$^2$ soit environ un treizième de l'Etat d'Orissa, Inde, montre le type de produit que l'on peut obtenir en fondant trois des bandes spectrales transmises par l'analyseur à balayage multibande du satellite. Cette image sur film, tirée de négatifs ou de positifs 70 mm, a été agrandie à l'échelle de 1 : 1 000 000. Elle n'a pas été corrigée géométriquement. Du fait que les données obtenues ne peuvent être classées à partir du support "film", comme c'est le cas pour les "bandes compatibles", il n'a pas été possible d'en tirer des tableaux statistiques par catégories, ce qui limite son utilisation pour les analyses agronomiques. Par contre, les composites couleur réalisés à partir du film 70 mm sont relativement peu coûteux, entre le tiers et le vingtième du prix de l'analyse d'une bande, et fournissent fréquemment dans des délais très réduits des informations géologiques et hydrologiques d'un haut intérêt.

La FIGURE 9 montre les images de 2 des 4 bandes fournies par le MSS du LANDSAT (19 novembre 1975, scène du Lac Chilka, Orissa, Inde, n° de référence EROS 2301-04002). Ces images peuvent être agrandies et utilisées individuellement comme des photographies noir et blanc, ou traitées en composite pour donner des photographies en couleur, dont un type de rendu figure sur la page ci-contre.

L'image de la bande 5 (ci-dessus) fait ressortir la végétation dans les tons gris. Les zones plus sombres sont couvertes de forêts. On voit également de façon claire les sables alluviaux entre les meandres de la rivière Mahanadi et les hauts fonds du lac. L'image de la bande 7 montre en noir les masses d'eau.



applications, comme la détection de la pollution des eaux et les perturbations de zones très humides, la sensibilité, la résolution géométrique et la fréquence de passage du système LANDSAT actuel n'ont pas été capables à l'expérience de satisfaire bon nombre des normes américaines. Il n'est pas exclu qu'une amélioration de tout ou partie de ces facteurs conduise à des résultats plus satisfaisants.

Toutefois, le pouvoir qu'a le LANDSAT de repérer les changements de coloration des eaux et de distinguer les différences dans la couverture terrestre sur de vastes étendues s'est révélé précieux pour mettre en lumière certains types de pollution ou de dégradation de l'environnement. Les différences de coloration observées dans des images de LANDSAT ont permis de détecter des nappes d'hydrocarbures et des suintements de pétrole dans les zones côtières, des rejets industriels et citadins dans les effluents, et les courants causant un envasement. Les incidences de l'extraction de l'étain sur les eaux continentales le long des côtes de la Malaysia ont pu être cartographiées à l'aide des données de LANDSAT, qui sont également utilisées dans une étude des Nations Unies sur les effets pour l'environnement de l'exploitation de l'étain à ciel ouvert dans ce pays[57].

Les images de LANDSAT sont utilisées à titre expérimental pour surveiller les exploitations à ciel ouvert dans la région des Appalaches et dans l'Idaho, pour observer la détérioration des terres dans des zones arides comme le Sahel et, comme on l'a noté dans d'autres parties du présent chapitre, pour mesurer l'étendue des dommages provoqués par les incendies de forêts et les inondations[58,59].

Pour des études des mers de sable, les chercheurs ont fait appel dans une grande mesure aux données de LANDSAT pour établir une base de classification et de surveillance de l'évolution de l'environnement dans les principales régions désertiques du globe[60,61].

En *Gambie*, les images de LANDSAT ont montré clairement que les courants de la rivière du même nom, transportant les effluents de la ville de Banjul, tourbillonnent pendant une partie de l'année le long d'une portion de côte sur laquelle était prévu un programme de développement touristique, avec financement de la Banque mondiale. Les plans ont été révisés pour tenir compte de ce facteur. Les scènes de LANDSAT ont également mis en évidence des problèmes de pollution dans deux zones de développement touristique sur les côtes de la *Turquie*.

## Ressources maritimes, océanographie et génie côtier

Les données fournies par différents satellites météorologiques (ITOS et NIMBUS) ont été beaucoup plus largement utilisées pour des enquêtes maritimes et côtières que les données des LANDSAT 1 et 2, dépourvus de

détecteurs à infrarouge dans les bandes qui sont particulièrement précieuses pour les travaux océanographiques. En détectant de façon synoptique les températures à la surface des eaux sur de vastes étendues océaniques et de longues bandes d'eaux côtières, les satellites météorologiques ont fourni de nouvelles informations ou confirmé les théories sur la répartition des masses d'eau, sur les schémas de circulation des eaux à l'échelle du globe, sur la structure des courants côtiers, et sur les zones où des masses d'eau convergentes ou divergentes entraînent d'importants gradients thermiques. On sait que ces gradients s'accompagnent de fortes concentrations de poisson.

Les données de ces satellites servent également à déterminer l'état de la mer et à localiser les zones de formation de la houle, information qui peut être importante pour la prévision précoce d'éventuelles inondations et catastrophes dans les zones côtières. Les images de la scintillation du soleil sur les eaux sont utiles pour délimiter les nappes d'hydrocarbure et les tourbillons qui peuvent être associés à des courants et à la propagation des polluants.

Les images de LANDSAT n'en sont pas moins de plus en plus employées pour l'analyse des zones côtières, en particulier lorsque des effluents et des eaux peu profondes ont une couleur ou une réflectance différentes des eaux environnantes et peuvent en conséquence être facilement identifiés et délimités. Ce type d'informations convient à l'étude des problèmes de protection de l'environnement, de navigation et de pêche. Nappes et suintements d'hydrocarbures, dégazages illégaux et effluents polluants ont été observés tant dans les eaux peu profondes que dans les régions inondables avoisinantes. Il est également possible de localiser certaines variétés de poissons en identifiant leur habitat sur les images. Il est possible de surveiller dans les chenaux et baies les changements de profondeur qui peuvent être dangereux pour la navigation. Enfin, la couverture répétitive des zones côtières peut servir utilement à détecter les grands changements de rythme de la pollution, de la sédimentation, de l'érosion, de l'assèchement ou de l'enfonçement des marais.

## Prévision et évaluation des catastrophes naturelles

Une étude de résultats expérimentaux à laquelle le Service géologique des Etats-Unis a procédé en 1975 a démontré que les images de LANDSAT peuvent servir utilement à prévenir et évaluer certains types de cataclysmes à travers le monde. Pour les principales catégories de catastrophes, les conclusions à l'époque de l'étude sont résumées ci-dessous :

TABLEAU 4 Résumé des applications d'un LANDSAT opérationnel aux catastrophes naturelles

Excellente–faisabilité et utilisation démontrées par les résultats expérimentaux
Possible–résultats expérimentaux encore incomplets mais prometteurs
Non prouvée–pas encore essayée ou faisabilité non encore établie
Sans objet

| Type de calamité et analyse | | Images LANDSAT | Système de collecte de données LANDSAT |
|---|---|---|---|
| Inondations | Prévision | Non prouvée | *Excellente |
| | Evaluation | Excellente | Sans objet |
| Séismes | Prévision | Possible | Possible |
| | Evaluation | Possible | Sans objet |
| Eruptions volcaniques | Prévision | Possible | Possible |
| | Evaluation | Possible | Sans objet |
| Sécheresse | Prévision | Possible | *Non prouvée |
| | Evaluation | Exellente | *Non prouvée |
| Incendies | Prévision | Sans objet | Non prouvée |
| | Evaluation | Excellente | Sans objet |
| Pertes de récoltes | Prévision | Non prouvée | *Non prouvée |
| | Evaluation | Possible | Sans objet |
| Tempêtes de grêle | Prévision | Sans objet | Sans objet |
| | Evaluation | Possible | Sans objet |
| Mouvements de glaciers | Prévision | Possible | Possible |
| | Evaluation | Excellente | Sans objet |
| Pollution des eaux | Prévision | Sans objet | Possible |
| | Evaluation | Possible | Possible |

*Précision améliorée par l'utilisation conjointe d'images de satellites de la série NOAA et de données fournies par des stations météorologiques.
Source: Robinove[62]

Le secteur d'application le plus prometteur est celui des inondations, qui constituent par ailleurs les calamités les plus répandues, les plus fréquentes et les plus dommageables dans le monde. Les images obtenues par télédétection permettent de délimiter les zones inondées et, en combinaison avec les cartes d'occupation des sols, de repérer les terres sujettes à inondation et d'estimer leurs conséquences économiques, notamment pour l'agriculture. Les données de satellites peuvent fournir des informations utiles pour la planification de mesures de protection et de lutte contre les inondations. La cartographie des inondations avec des images de LANDSAT s'est révélée un succès manifeste dans le cas des crues du Mississippi[63] et de l'Indus (Pakistan), qui ont eu lieu

en 1973. On peut de la même manière cartographier et contrôler après coup les dégâts provoqués sur les côtes par les ouragans et typhons, ainsi que l'érosion et les dépôts de sédiments le long du littoral touché.

La détection de la sécheresse au moyen du LANDSAT, qui se fonde sur des travaux menés dans le Sahel, ne peut se faire que par déduction, principalement du fait qu'il s'agit d'un phénomène progressif. L'analyse comparative de scènes de LANDSAT montrera les modifications qui laissent prévoir un risque de sécheresse, par exemple la raréfaction des eaux de surface, la réduction en superficie et en vigueur de la végétation et, dans certaines régions, le progrès de la désertification dû au mouvement des dunes de sable. Dans une situation de sécheresse existante, les images de LANDSAT ont servi utilement à rechercher des ressources supplémentaires en eau, à déterminer dans quelle mesure une terre est propre à la culture et à l'élevage, à reconnaître les zones les moins touchées, ainsi qu'à surveiller et cartographier un processus de désertification.

Les images de LANDSAT sont exceptionnellement précieuses pour déceler et cartographier directement les incendies de forêts et de savanes, de même que les cultures et forêts qui dépérissent pour une raison ou une autre (manque d'humidité, maladie, prolifération d'insectes, tempêtes). Si les conditions du dépérissement sont parfois identifiables, il est encore impossible d'évaluer leur cause ou leur degré.

Pour d'autres catégories de cataclysmes, les images de LANDSAT peuvent fournir une contribution notable en complément des données recueillies par les satellites météorologiques et surtout par les plates-formes de collecte des données au sol.

Mais pour presque tous ces types de catastrophes, les possibilités des LANDSAT ont été gravement limitées, au cours de cette période expérimentale, par la fréquence relativement faible de leur passage, par les retards dans le traitement des données et par d'autres retards dans la transmission de l'information nécessaire à ceux qui peuvent l'utiliser.

## Santé publique et lutte contre les épizooties

La possibilité d'utiliser la télédétection pour repérer les zones qui servent de terrain de reproduction ou d'habitat à des insectes vecteurs de maladies a été étudiée au niveau tant de l'avion que du satellite.

Au cours de deux études menées aux Etats-Unis, des vues prises par avion sur film couleur infrarouge couvrant les mêmes bandes de fréquences que le MSS de LANDSAT ont permis de repérer les types de végétation ou les

emplacements qui servent d'habitats à des insectes qui peuvent être porteurs de maladie. Les zones étudiées étaient des marécages de Louisiane et des eaux stagnantes à proximité de Houston, Texas, abritant des moustiques[64].

La carte de la végétation dressée à la suite de l'étude de la Louisiane a contribué à établir un programme amélioré de lutte contre les insectes qui s'est révélé plus économique, plus efficace et moins néfaste pour l'environnement que de précédentes opérations qui avaient consisté à appliquer des insecticides sur l'ensemble des marécages.

A l'appui d'une campagne binationale d'éradication du ver en vis qui affecte le bétail au nord du Mexique et au sud-ouest des Etats-Unis, les données de température reçues quotidiennement de satellites météorologiques et combinées avec des informations sur les chutes de pluie ont été rapprochées des conditions d'ambiance nécessaires au cycle de métamorphose de cet insecte dans le cadre d'une action visant à prédire sa présence, son absence ou son abondance relative sur la base des seuls facteurs météorologiques[65]. Dans ces études, les données de LANDSAT ont servi à définir la couverture végétale indispensable à cette mouche lucilie. Même si les résultats de ces études ne sont pas concluants, les techniques mises au point semblent devoir déboucher sur d'utiles applications dans la lutte contre les insectes.

Il est possible de tirer de ces études la conclusion que la télédétection, que ce soit par avion ou par satellite, peut être utilisée avec profit si l'on connaît bien la relation entre un organisme pathogène et les facteurs d'environnement déterminants pour sa survie et lorsque ces paramètres spécifiques d'environnement peuvent être observés à l'aide des données de la télédétection ou en être déduits.

Cette conclusion a été confirmée par l'étude de terrains à pâturage menée actuellement au Mali, dans laquelle les images de LANDSAT, au niveau de la reconnaissance, ont démontré qu'elles permettaient de faire clairement la distinction entre la savane et la forêt-galerie voisine dont on sait qu'elle sert d'habitat au type fluvial de mouche tsé-tsé, vecteur de la maladie du sommeil pour l'homme et l'animal[66].

## En guise de premières conclusions

Même si elles se fondent largement sur l'expérience américaine, quelques-unes des observations qui peuvent être faites sur la détection des ressources naturelles par satellite sont applicables aux pays en voie de développement :

- Comme l'indiquait un rapport sur l'avancement de l'expérience LANDSAT, publié par le Conseil national de la recherche en 1974, "la science

et la technologie de la télédétection pour l'étude des ressources terrestres présentent une grande latitude de croissance et d'amélioration et offrent à la collectivité des moyens à long terme de dimensions considérables"[67]. Même dans l'état actuel de la technologie de la télédétection, la masse des rapports d'études des satellites LANDSAT et les progrès techniques réalisés dans la mise en valeur de leurs données ne cessent de mettre en évidence des capacités et des applications nouvelles de cette technologie, dont bon nombre ont un intérêt direct pour les pays en voie de développement.

- La télédétection par satellite présente des caractéristiques exclusives dont les avantages ne sont pas encore pleinement perçus : uniformité de perspective à grande échelle, régularité de la couverture répétitive, extraordinaire facilité de présentation visuelle et de communication, capacité de présenter de façon synoptique des éléments d'information éparpillés, effet catalyseur potentiel sur les spécialistes, planificateurs et responsables politiques qui les pousse à organiser de façon rationnelle la collecte et l'application des informations sur les ressources naturelles. De plus, le fait que les satellites fournissent ces données avec des caractéristiques uniformes pour l'ensemble du globe peut renforcer les occasions de communication internationale parmi les spécialistes des ressources naturelles dans chaque discipline et entre disciplines.
- L'expérience acquise à ce jour avec les LANDSAT a également montré les limites des orbites et détecteurs actuels, ainsi que des arrangements existants pour la transmission des données aux utilisateurs. L'identification de certains éléments des ressources terrestres, théoriquement possible avec la télédétection spatiale, est irréalisable avec la génération actuelle de plates-formes et de détecteurs.
- Une importance croissante s'attache à la synthèse de données provenant de multiples sources, et paraît de plus en plus prometteuse. C'est ainsi que l'utilisation conjointe des observations au sol, de la photographie aérienne, des données de LANDSAT et des données de satellites météorologiques se produit plus fréquemment et a toutes chances de se développer.
- Les procédés directs et les techniques numériques de traitement des données ont leur rôle à jouer aux Etats-Unis comme dans le monde non industrialisé. L'observation des formes, des textures, des motifs et autres caractéristiques des images donne à l'analyste une souplesse que ne possède pas le seul traitement numérique multibande. D'un autre côté, les techniques numériques présentent des avantages pour l'interprétation des signatures. Des études récentes ont montré que les calculateurs sont capables d'utiliser les caractéristiques de texture du sol parallèlement aux données spectrales afin d'identifier des types de végétation avec une remarquable précision[68, 69]. Il

est à prévoir que les techniques numériques continueront de s'améliorer et fourniront une plus grande contribution à l'analyse des données des satellites.

• Dans tous les secteurs, il existe encore un fossé entre l'expérimentateur technique et l'utilisateur final des informations sur les ressources terrestres, mais ce fossé a toutes chances d'être comblé lorsque l'accent sera davantage mis, en télédétection, sur des projets de gestion des ressources quasi opérationnels faisant appel à l'action conjuguée des techniciens de la détection, des planificateurs et des responsables des décisions.

## Notes

1. National Research Council, Commission on Natural Resources, Committee on Remote Sensing Programs for Earth Resource Surveys, *Remote Sensing for Resource and Environmental Surveys: A Progress Review* (Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1974) (dénommé ci-après NRC, *Remote Sensing for Resources and Environmental Surveys*).
2. Earth Satellite Corporation and Booz-Allen Applied Research Corporation, *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study· Economic, Environmental, and Social Costs and Benefits of Future Earth Resources Survey Systems*, préparé pour le U.S. Department of the Interior-Geological Survey, 12 vols. (Washington, D.C., Earth Satellite Corporation, 1974) (dénommé ci-après EARTHSAT, *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study*).
3. National Research Council, Space Applications Board of the Assembly of Engineering, *Practical Applications of Space Systems*, 14 supporting papers (Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1975).
4. M.E. Bauer, "Crop Identification and Area Estimation Over Large Geographic Areas Using LANDSAT MSS Data," Final Report to U.S. National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, Contract #NAS5-20793 (West Lafayette, Indiana, Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, 1976).
5. ——————, "The Role of Remote Sensing in Determining the Distribution and Yield of Crops," in *Advances in Agronomy*, ed. N.C. Bradley (New York, Academic Press Inc., 1975), 27:271-304.
6. R.M. Bizzel *et al.*, "Results from the Crop Identification Technology Assessment for Remote Sensing (CITARS) Project," in *Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 2 vols. (Ann Arbor, Michigan, Environmental Research Center of Michigan (ERIM), Center for Remote Sensing Information and Analysis, 1975), II 1189-1198 (dénommé ci-après *Tenth ERIM Symposium*).
7. W.H. Wigton, "Use of LANDSAT Technology by the Statistical Reporting Service," in *Proceedings of Symposium on Machine Processing of Remote Sensing Data*, held at Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, June 1976 (West Lafayette, Indiana, Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University) PB-6 (dénommé ci-après *Purdue Symposium*).
8. R.M. Ray III and H.F. Huddleston, "Illinois Crop Acreage Estimation Experiment," in *Purdue Symposium*, PB-14.
9. Archibald B. Park, "A Global Agricultural Information System" (communication au U.S. Congress Office of Technology Assessment, Washington, D.C., February 4, 1976).
10. R.A. Weismiller, "The Application of Remote Sensing Technology to the Solution of Problems in the Management of Resources in Indiana," in *Semi-Annual Status Reports to NASA* (West Lafayette, Indiana, Laboratory of Applications of Re-

mote Sensing, Purdue University, November, 1975 and May, 1976), pp. 50-55 and pp. 36-39.

11. C.E. Poulton *et al.*, "Potential Groundwater and Land Resource Analysis for Planning and Development, Arusha Region, United Republic of Tanzania." Rapport inédit préparé pour le U.S Agency for International Development, Contract AID tract AID #afr/C-1119 (Washington, D.C , Earth Satellite Corporation, 1975).
12. A.A. Klingbiel and V.I. Myers, "An ERTS-Based Land Resource Inventory for Mexico's National Water Study," *Soil Conservation* 4 18-20 (November, 1974).
13. H. Garduno, R. Garcia Lagos and F. Garcia Simo, "Present and Potential Land-Use Mapping in Mexico," in *Proceedings of the NASA Earth Resources Symposium, Houston, Texas, June 1975, Held at NASA Lyndon B. Johnson Space Center*, 3 vols. (Houston, Texas U.S. National Aeronautics and Space Admininstration, 1975), I-C:1823-1830 (dénommé ci-après *Houston Symposium*)
14. P.M. Seevers, J.V Drew and M.P. Carlson, "Estimating Vegetative Biomass from LANDSAT-1 Imagery for Range Management," in *Houston Symposium*, I-A:1-6.
15. R.H. Haas *et al.*, "Monitoring Vegetation Conditions from LANDSAT for Use in Range Management," in *Houston Symposium*, I-A·43-50.
16. C.E. Poulton, ed., "Range Resources. Inventory, Evaluation and Monitoring," in *Manual of Remote Sensing* (Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, 1975), pp 1460-1464.
17. S.D. De Gloria *et al*, "Utilization of High-Altitude Photography and LANDSAT-1 Data for Change Detection and Sensitive Area Analysis," in *Tenth ERIM Symposium*, I:359-366.
18. Poulton, ed., *Manual of Remote Sensing*, pp. 1460-1464.
19. Poulton, *et al.*, "Potential Groundwater and Land Resource Analysis."
20. J.D. Nichols *et al*, *ERTS-1 Data as an Aid to Wildland Resource Management in Northern California*, University of California, Space Sciences Laboratory, Series 16, Issue 62 (Berkeley, 1974).
21. L.W. Morley and A.K. McQuillan, "Canadian ERTS Progress Report," in *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, Held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C., on December 10-14, 1973*, comp. and ed. Stanley C. Freden and Margaret A. Becker, NASA Report, No. SP-351, 3 vols. (Washington, D.C., U.S. National Aeronautics and Space Adminstration), I-A:13-18 (dénommé ci-après *Third ERTS-1 Symposium*).
22. G.E. Graybeal, *et al.*, "ERTS-1 Data in Support of the National Program of Inspection of Dams," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-B.1023-1040.
23. "Computer and Satellite Cut Time and Cost of Water Mapping," *U.S. National Aeronautics and Space Administration News Release*, No. 76-4 (Washington, D.C., January 7, 1976).
24. B.J. Blanchard, "Remote Sensing Techniques for Prediction of Watershed Run-Off," in *Houston Symposium*, I-D.2379-2408.
25. J. Amorocho, "An Application of Satellite Imagery to Hydrologic Modeling: The Upper Sinu River Basin, Colombia," (Communication au International Symposium and Workshop on the Application of Mathematical Models in Hydrology and Water Resources Systems, Bratislava, Yugoslavia, July 1975).
26. R.R. Sabatini, "Satellite Remote Sensing in the Planning and Operation of a Meteorological Network for Venezuela," (Washington, D.C., Earth Satellite Corporation, 1975), pp. 1-90.
27. M. Deutsch and F.H. Ruggles, "Optical Data Processing and Projected Applications of the ERTS-1 Imagery Covering the 1973 Mississippi River Valley Floods," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-B:1167-1188.
28. International Bank for Reconstruction and Development, *Pakistan Flood Pattern: Map #10798* (Washington, D.C., 1973).
29. J.C. Barnes, C.J. Bowley and D.A. Simmes, "Mapping Snow Extent in the Salt-Verde Watershed and the Southern Sierra Nevada Using ERTS Imagery," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-B:977-994.

30. R.K. Jain, *Investigation of the Effects of Construction and Stage Filling of Reservoirs on Environment and Ecology* (Champaign, Illinois, U.S. Department of the Army, Construction Engineering Research Laboratory, 1975).
31. J.E. Estes, R.R. Thaman and L W. Senger, "Application of ERTS-1 Satellite Imagery for Land-Use Mapping and Resource Inventories in the Central Coastal Region of California," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-A 457-490.
32. B.J. Tomes, "The Use of SKYLAB and LANDSAT in a Geohydrological Study of the Lower Paleozoic Section, West Central Bighorn Mountains, Wyoming," in *Houston Symposium*, I-D·2167-2171.
33. S.K. Sharma and S C Sharma, "Hydro-Morphological Evaluation of False-Color Composite Made from Multispectral Imagery for Area Between the Ganga and Jumna Rivers, India," in *Houston Symposium* Abstracts, pp 277-278.
34. Poulton, *et al* , "Potential Groundwater and Land Resource Analysis."
35. G.C. Taylor, Jr , 1975, Communication orale, U.S. Geological Survey.
36. E. Van Es, H. Gomez and R Soeters, "An Inundation Study of the Lower Magdalena-Cauca River Basin," in *Houston Symposium*, I-D·2295-2297.
37. N.M. Short and R W Marrs, "The Anatomy of an Anomaly," in *Houston Symposium*, I-B·641-663
38. J.A. Reinemund, *International Implications of LANDSAT Data from a Geological Viewpoint*, U S. Geological Survey, Open File Report 75-681 (Washington, D.C., 1975), p. 9.
39. L.C. Rowan *et al* , *Discrimination of Rock Types and Detection of Hydro Thermally Altered Areas in South Central Nevada by the Use of Computer-Enhanced ERTS Images*, U.S Geological Survey Professional Paper No. 883 (Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1974).
40 R.K. Vincent, "Geochemical Mapping by Spectral Ratioing Methods," in *Remote Sensing Applications for Mineral Exploration*, ed. W.L. Smith, (sous presse).
41. J. Bodechtel and B. Lammerer, "New Aspects of the Tectonic of the Alps and the Appenines Revealed by LRTS-1 Data," in *Symposium on Significant Results Obtained from ERTS-1, New Carrollton, Maryland, March 5-9, 1973*, 3 vols. (Greenbelt, Md., U.S. NASA, Goddard Space Flight Center, 1973), I-A:493-500 (dénommé ci-après *New Carrollton Symposium*).
42. W.D. Carter, "Mineral Resource Investigations in South America Using LANDSAT Data," in *Tenth ERIM Symposium*, II·1029.
43. R.G. Schmidt, B.B. Clark and R Bernstein, "A Search for Sulfide-Bearing Areas Using LANDSAT-1 Data and Digital Image-Processing Techniques," in *Houston Symposium*, I-B.1013-1027
44. A.P. Colvocoresses, "Evaluation of the Cartographic Application of ERTS-1 Imagery," *The American Cartographer* 2 5 (1975).
45. *Ibid.*, p. 14.
46. A.P. Colvocoresses, "Unique Cartographic Characteristics of ERTS," *Journal of Research of the U S. Geological Survey*, 2·763-764 (November-December 1974).
47. U.S. Geological Survey, "Potential Capability of ERTS for Delineating Water Boundaries at Various Stages in Areas Subject to Inundation," Memorandum EC-13-ERTS (Washington, D C , 1973).
48. Environmental Research Institute-of-Michigan, *NASA-Cousteau Ocean Bathymetry Experiment*, Report No 118500-1-F (Ann Arbor, Michigan, 1976).
49. Colvocoresses, "Evaluation of the Cartographic Application of ERTS-1 Imagery," p.16.
50. *Ibid.*, p. 14.
51. C.E. Brockman, *Data Collection Project, ERTS-1* (La Paz, Bolivia, Servicio Geologico de Bolivia, Programa del Satelite Tecnologico de Recursos Naturales, 1974).
52. EARTHSAT, *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study*, app. 5.
53. A.T. Joyce and T.W. Pendleton, "Computer-Implemented Land Use Classification with Pattern Recognition Software and ERTS Digital Data," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-A:331-337.

54. P.E. Baldridge, et al., "Ohio's Statewide Land Use Inventory: An Operational Approach for Applying LANDSAT Data to State, Regional and Local Planning Programs," in *Houston Symposium*, I-C:1541-1552.
55. C.C. Winikka and H.H. Schumann, "Arizona Land Use Experiment," in *Houston Symposium*, I-C:1565.
56. P. Reining, "The Demographic Potential of ERTS-1 Data" (Communication au Symposium of Frontiers of Population Research, Assemblée générale de l'American Association for the Advancement of Science, January 1975).
57. Reinemund, *International Implications of LANDSAT Data*, p. 12.
58. R.S. Williams, Jr, and W.D. Carter, eds, *ERTS-1 – A New Window on Our Planet*, U.S. Geological Survey Professional Paper #929 (Washington, D.C., 1976), Chapter 6.
59. J.B. Bale *et al*, eds., "Remote Sensing Applications to Resource Management Prob-Problems in the Sahel," préparé pour la U.S. Agency for International Development, contract AID #afr/C-1058, (Washington, D.C., Earth Satellite Corporation, 1974).
60. E.D. McKee, C.S. Breed and L.F. Harris, "A Study of Morphology, Provenance and Movement of Desert Sand Seas in Africa, Asia and Australia," in *New Carrollton Symposium*, I-A:291-304.
61. E.D. McKee, "The Study of Sand Seas on a Global Scale," in *Tenth ERIM Symposium*, II:931.
62. C.J. Robinove, *Worldwide Disaster Warning and Assessment with Earth Resource Technology Satellites*, préparé pour la U.S. Agency for International Development (Reston, Virginia, U.S. Geological Survey, 1975).
63. Voir notes 27 et 28.
64. U.S. National Aeronautics and Space Administration, *The Use of Remote Sensing in Mosquito Control*, NASA-MSC-07644 (Houston, Texas, Johnson Space Center, Health Applications Office, 1973).
65. M.J. Quinn, "The Screwworm Eradication Data System (SEDS)," in *Houston Symposium*, I-B: 1309-1311.
66. "Mali Livestock Project," rapport inédit préparé pour la U.S. Agency for International Development, contract AID #afr/C-1225, (Washington, D.C., Earth Satellite Corporation), en préparation
67. NRC, *Remote Sensing for Resource and Environmental Surveys.*
68. P.H. Swain, "Toward Effective Use of Spatial Information in Multispectral Remote Sensing" (Communication au U.S.-Japan Seminar on Image Processing in Remote Sensing, College Park, Maryland, November, 1976).
69. R.M. Haralick and R. Bosley, "Spectral and Textural Processing of ERTS Imagery," in *Third ERTS-1 Symposium*, I-B:1929-1969.

# V Perspectives technologiques

## Une technologie en mouvement

La technologie de la télédétection spatiale des ressources terrestres en est encore à un stade précoce de son développement et évolue rapidement. Dans les dix prochaines années, si les plans actuels de la NASA se concrétisent, les véhicules spatiaux et détecteurs exploités en ce moment seront supplantés par des systèmes plus perfectionnés aux moyens notablement améliorés qui devraient conférer à la détection des ressources terrestres plus de prix et plus de souplesse dans le temps comme dans le choix des observations.

Les deux premiers LANDSAT ont démontré que leurs détecteurs étaient capables de fournir des données utiles pour l'inventaire des ressources et la surveillance de l'environnement. En même temps, ils ont indiqué les limites de la première génération de détecteurs et leur incapacité à faire face aux nombreux besoins de données que la télédétection par satellite devrait être théoriquement en mesure de satisfaire.

Il est à prévoir que les différents systèmes spatiaux de l'avenir assureront une couverture plus fréquente avec une résolution géométrique et spectrale meilleure que celle des satellites actuels. De plus, les futurs véhicules spatiaux spécialisés dans l'observation des ressources terrestres ne seront vraisemblablement pas exploités de façon isolée. Un système élargi de collecte des données regroupant des satellites spécialisés, des avions et des plates-formes automatiques de collecte des données au sol est en vue. Les multiples flots de données provenant de ces différentes sources devront être intégrés pour répondre aux besoins d'information pour la planification et la prise de décision au niveau tant mondial que national. En même temps, la technologie du traitement au sol et la conception des systèmes d'information à terre, qui font la synthèse des données fournies par satellite et des données de soutien, ont toutes chances d'être améliorées. Cette vision intégrée serait particulièrement précieuse pour la surveillance des phénomènes dynamiques, pour la prévision de la production agricole, pour observer l'évolution des terrains de parcours, des forêts, des ressources en eau et de l'occupation des sols, ainsi que pour prévoir et évaluer certains types de cataclysmes naturels.

Les systèmes de véhicules spatiaux qui seront probablement exploités dans la décennie qui vient sont connus pour l'essentiel dès maintenant du fait des longs délais nécessaires pour leur développement, mais on ne saurait postuler avec le même degré de certitude les perspectives technologiques jusqu'en 1980 et pour les années qui suivent.

Les modifications techniques prévues pour les cinq prochaines années et les améliorations qu'elles apporteront vraisemblablement aux applications pratiques de la télédétection de la Terre sont aujourd'hui assez claires. Les progrès du début de la prochaine décennie ont un caractère plus spéculatif. C'est pourquoi les réalisations techniques prévues en matière de télédétection spatiale pour les dix prochaines années et leurs applications potentielles à des secteurs particuliers sont divisées dans le résumé qui suit en deux périodes : 1976-1980 et 1981-1985.

## Technologie à court terme (1976-1980)

### Série LANDSAT

LANDSAT C* dont le lancement, prévu pour 1977 ou 1978, dépendra de la régularité du fonctionnement de LANDSAT 2, sera pour l'essentiel semblable aux LANDSAT 1 et 2, hormis deux modifications importantes du système de détection :

- L'analyseur à balayage multibande (MSS) doit comporter une cinquième bande (bande 8) pour recueillir des données dans la région thermique (probablement 10,4-12,6 μm) du spectre. Cette bande infrarouge (IR) aura une résolution géométrique plus grossière (de l'ordre de 240 m à comparer aux 80 m des autres canaux du MSS), mais avec une sensibilité à la température de 0,5°C.
- Les caméras du système Vidicon à faisceau de retour (RBV) dans trois bandes différentes du spectre seront remplacées par deux chambres panchromatiques identiques fonctionnant dans la plage de 0,5 à 0,7 μm. Ces chambres seront équipées de nouvelles optiques pointées sur deux zones adjacentes de 50 milles nautiques de côté. Il en résultera une amélioration de la résolution qui passera de 80 m pour les RBV actuels à environ 40 m. Les images contiguës qui seront obtenues le long de l'orbite couvriront la même trace de 185 km que l'actuel MSS. On en tirera des photocartes planimétriques à l'échelle de 1 : 100 000 ou moins. En l'absence de cartes de base équivalentes ou meilleures, ces photocartes pourraient servir de base pour enregistrer les informations thématiques du MSS.

*Sera appelé LANDSAT 3 une fois en orbite.

**Satellite "Heat Capacity Mapping Mission"—HCMM (Mission de cartographie de la capacité calorifique)**

Le satellite HCMM, dont le détecteur comporte deux canaux dans le proche infrarouge (0,8-1,1 μm) et l'infrarouge thermique (10,5-12,5 μm), sera lancé en 1978 pour un travail expérimental. C'est sans doute pour les applications géologiques, hydrologiques et agricoles à grande échelle que les données de ce satellite auront le plus d'intérêt étant donné que sa résolution géométrique sera de 500 m. Héliosynchrone, il passera sur les Etats-Unis à 13.30 h et à 02.30 h heure locale, à peu près aux heures où la surface du sol atteint sa température la plus élevée et sa température la plus basse.

Les données du HCMM devraient également permettre de déterminer par déduction la composition des roches et du sol de surface (sable ou argile, roche ignée acide ou roche ignée basique en surface, etc.), les variations de la teneur en eau près de la surface du sol, la cartographie des effluents thermiques à grande échelle, et la surveillance de la fonte des neiges pour la prévision des écoulements. De plus, des études de faisabilité porteront sur la mesure de l'humidité superficielle du sol et sur l'estimation de la transpiration et du dépérissement des plantes. Le succès de l'expérience du HCMM pourrait mener à la conception d'un système opérationnel de collecte de données.

**Satellite "Mesure de la dynamique des océans" (SEASAT A)**

Premier exemplaire d'une série de satellites qui mesureront les phénomènes dynamiques à la surface des océans, SEASAT A sera probablement lancé en 1978. Il parcourra 14,5 orbites à 800 km d'altitude par jour et assurera la couverture jour et nuit d'un point donné de l'océan toutes les 36 heures.

Les détecteurs hyperfréquences passifs et actifs tous temps du SEASAT poursuivront en les élargissant les expériences inaugurées sur le SKYLAB sous forme d'essais de faisabilité de la surveillance régulière des vents à la surface des océans, de la température des océans, de la dynamique des grands courants océaniques, des tempêtes en mer, des mouvements des glaces et de l'état de la mer.

Les expériences prévues pour SEASAT A mettront en lumière les interactions entre l'air et l'eau afin de réunir des données solides en vue d'évaluer le rôle futur de satellites SEASAT plus perfectionnés dans des domaines tels que l'impact des océans sur le temps et le climat, l'impact des océans sur la glaciologie et les processus côtiers, les risques pour la navigation et l'amélioration du rendement des pêcheries, des récoltes de plancton et d'algues.

**Satellites météorologiques**

Adjonction de détecteurs supplémentaires, augmentation de la fréquence de couverture (la couverture quotidienne passant de deux fois à près de 60

fois lorsque le réseau complet des satellites météorologiques sera en orbite), amélioration de la résolution géométrique de certains détecteurs qui passera à 0,5 km ou mieux, tels sont les éléments qui conféreront progressivement une plus grande importance aux satellites météorologiques pour les programmes d'étude de la Terre, en particulier sous forme d'une combinaison de meilleures données météorologiques avec les données des LANDSAT.

NIMBUS-G (1978) emportera un spectromètre qui prendra des images en couleur des océans, un radiomètre et un scattéromètre qui fournira des données sur l'état de la mer, et des détecteurs qui suivront la pollution stratosphérique.

TIROS-N (1978) devrait emporter un détecteur à quatre canaux qui fournira des données dans les bandes visible et infrarouge du spectre avec une résolution géométrique d'un kilomètre. Son équipement devrait également comporter une sonde des températures atmosphériques et peut-être un instrument mesurant le bilan radiatif.

Un deuxième satellite géostationnaire opérationnel pour l'environnement (GOES-B) ira rejoindre en 1977 GOES 1 et un satellite météorologique synchrone plus ancien (SMS) en vue de fournir, entre autres données, des images de la couverture nuageuse de l'hémisphère occidental toutes les demi-heures. Le système GOES surveille également le champ magnétique de la Terre et rassemble les données envoyées par des bouées océaniques, des séismomètres, des maréomètres et autres plates-formes DCS. Les deux GOES représenteront la principale contribution des Etats-Unis au système de la Veille météorologique mondiale qui prendra sa forme complète en 1978 lors de la mise sur orbite de satellites supplémentaires du même type au-dessus de l'Atlantique, de l'Océan indien et du Pacifique occidental par l'Agence spatiale européenne, l'URSS et le Japon.

## Applications à court terme (1976-1980)

Jusqu'en 1980, les progrès techniques de première importance pour les pays en voie de développement proviendront de LANDSAT C et de l'intégration progressive des données des satellites météorologiques dans les programmes de détection des ressources terrestres. Du fait de leur association, le nouveau canal IR et la modification du RBV de LANDSAT C d'une part, les progrès que connaîtra vraisemblablement l'utilisation des données météorologiques d'autre part, laissent prévoir les incidences suivantes sur les différents secteurs des ressources naturelles :

### Production agricole

- Meilleure prévision des récoltes fondée sur : l'amélioration de l'identification des cultures, de l'ordre de 2 à 10 % par rapport aux résultats actuels

de LANDSAT, en fonction de la complexité de la zone cultivée (IR)—plus l'environnement a une structure simple, plus grande sera vraisemblablement l'amélioration ; les gains possibles dans l'estimation des rendements (RBV, IR) ; l'amélioration de l'estimation des superficies (RBV).

• Meilleure délimitation des catégories de sols à l'échelle de la reconnaissance (RBV).

### Gestion des terrains de parcours

• Amélioration de la surveillance de l'état de la végétation dans les terrains de parcours (IR).

• Délimitation plus précise des espèces végétales permettant d'améliorer les inventaires (RBV).

### Gestion des forêts

• Améliorations faibles à modérées pour toutes les catégories dans lesquelles le système LANDSAT a démontré ses possibilités : échantillonnage (RBV), surveillance des coupes claires (RBV, IR), incendies (RBV, IR), bois mort (RBV), et cartographie grossière des associations d'essences dans les zones peu connues (IR).

### Gestion des ressources en eau

• Meilleure qualité des analyses géomorphiques et des lignes de fracture pour la prospection des eaux souterraines (RBV).

• Amélioration des estimations de la pluviométrie sur de vastes surfaces dans les régions tropicales et subtropicales (SMS/GOES).

• Développement de la mesure systématique de l'humidité du sol à proximité de la surface pour les estimations de rendement des cultures et pâturages (satellites météorologiques) et moyens supplémentaires d'évaluer l'humidité des sols à proximité de la surface dans les régions arides et semi-arides (IR).

• Amélioration de l'estimation des écoulements ponctuels résultant des deux points ci-dessus.

• Amélioration de la prévision des inondations et de l'évaluation des dommages qu'elles causent.

### Etudes géologiques et exploration pétrolière et minière

• Détection d'anomalies thermiques, signe de failles éventuelles ; amélioration du pouvoir séparateur pour différencier les types lithologiques en zones arides (IR) ; (comme la bande IR des LANDSAT est large et de faible

résolution et que l'heure de passage (09.30 h) n'est pas optimale, sa contribution aux recherches géologiques risques d'être modeste).

• Définition améliorée des structures, des réseaux de fractures et de la succession des roches sédimentaires (RBV).

Ces deux améliorations seront précieuses pour l'exploration pétrolière et minière.

### Cartographie

• Possibilité de réviser par adjonction d'éléments supplémentaires les cartes topographiques à l'échelle du 1 : 250 000, voire à plus petite échelle, du fait que le RBV a une meilleure résolution géométrique et aura probablement une meilleure fidélité géométrique.

• Optimisation de la qualité des cartes d'images à l'échelle du 1 : 250 000 (RBV), par rapport aux images des LANDSAT 1 et 2 qui se prêtent particulièrement à la cartographie au 1 : 500 000.

### Occupation des sols—Aménagement du territoire

• Amélioration de l'identification des zones à structure urbaine et à terre compactée, avec et sans arbres (IR).

• Modeste amélioration de l'identification des limites et des grandes classifications catégorielles (RBV).

### Démographie

• Amélioration des études démographiques par sondages et de leur extrapolation (RBV).

• Meilleure délimitation des zones urbaines et des villages, et contribution à l'établissement des relations de l'occupation des sols à la région environnante du fait d'une meilleure discrimination dans les localités urbaines (IR) et d'une définition plus claire des limites (RBV).

### Protection de l'environnement

• Observation plus aiguë des secteurs critiques ayant des effets liés à la température ou à l'émissivité : pollution des eaux, écoulements pétroliers, pollution thermique (IR).

• Meilleure définition des régions à détérioration progressive, notamment en cours de désertification (RBV) ; la périodicité des passages restant de 9 ou 18 jours, on prévoit peu d'amélioration pour les situations qui nécessitent une surveillance plus fréquente.

#### Ressources maritimes et génie côtier

• Meilleure détermination des caractéristiques à faible ou moyenne amplitude de la circulation des masses océaniques, chaque fois que des différences de température notables peuvent être rapportées à des schémas des courants océaniques (IR).

• Détection probable des petits tourbillons, courants ascendants, écoulements pétroliers, et rejets de déchets (IR).

Aux latitudes les plus élevées, il sera possible de procéder à certaines estimations de la dynamique des courants océaniques en raison du "chevauchement" bi-quotidien des LANDSAT, ce qui peut fournir une aide aux pêcheries (IR).

#### Prévision et évaluation des catastrophes naturelles

• Amélioration de l'évaluation des cataclysmes et de la surveillance des zones inondées (RBV).

• Amélioration éventuelle de la surveillance des grandes éruptions volcaniques et des grands incendies de forêts dans des régions reculées (IR). Mais le cycle de 18 jours du LANDSAT C, compte tenu des risques de couverture nuageuse impénétrable, demeure incompatible avec les impératifs d'une prévention efficace de la plupart des types de catastrophes naturelles.

## Technologie à plus long terme (1981-1985)

Au cours de cette période, il est probable que la technologie de la télédétection spatiale des ressources terrestres progressera dans les trois grandes directions suivantes :

• Améliorations substantielles de la sensibilité des détecteurs multibandes.

• Mise au point et affinement de techniques destinées à faire la synthèse des données fournies par les satellites météorologiques et autres et des données de télédétection des ressources terrestres aux fins de la surveillance, et en particulier des prévisions agricoles et hydrologiques.

• Expérimentation et utilisation de la détection en hyperfréquences pour l'acquisition de données à travers la couche nuageuse.

### LANDSAT D

On travaille à la préparation d'un satellite de ressources terrestres de deuxième génération, désigné sous le nom de LANDSAT D, et qui emportera un analyseur à balayage multibande perfectionné appelé "Thematic Mapper"

(Cartographe thématique). Ce système de détection aura probablement six (et peut-être sept) canaux définis plus précisément et aura une résolution géométrique et radiométrique meilleure que les systèmes MSS embarqués sur les LANDSAT 1 et 2 : 256 niveaux d'intensité contre les 64 niveaux qui peuvent actuellement être mesurés et envoyés aux stations sol, et 30 m (soit environ 0,1 ha) par pixel contre les 80 m (0,4 ha) par pixel de la résolution actuelle.

D'après les prévisions en cours, un satellite LANDSAT D serait placé vers 1981 sur une orbite héliosynchrone quasi polaire à 705 km d'altitude avec un cycle de 18 jours. Un deuxième satellite serait lancé un peu plus tard de façon à constituer un système à deux satellites ayant une couverture répétitive de neuf jours.

Si ses bandes de fréquence sont optimisées pour détecter la couverture terrestre, comme on le prévoit actuellement, le Thematic Mapper serait particulièrement utile pour la détection agricole dans les pays en voie de développement et pourrait apporter des améliorations à la quasi-totalité des autres secteurs d'application. Par contre, l'amélioration de la résolution et les canaux supplémentaires entraîneraient une forte augmentation du débit des données, passant de 15 à 110 millions de bits par seconde, ce qui imposerait une énorme charge supplémentaire aux sous-systèmes de réception et de traitement des données au sol.

Il a été proposé d'installer parallèlement au Thematic Mapper sur LANDSAT D un exemplaire amélioré du MSS de première génération identique à celui qui est construit pour LANDSAT C. Ce MSS à cinq canaux pourrait faire face aux besoins des stations réceptrices et des utilisateurs qui ne sont pas encore prêts à passer à une technologie plus perfectionnée, assurerait une possibilité de comparaison avec les données des précédents LANDSAT et pourrait servir de renfort en cas de défaillance du Thematic Mapper, encore au stade expérimental*.

### La Navette spatiale

La navette spatiale, véhicule spatial habité réutilisable en cours de réalisation, doit être placée sur orbite en 1979-1980. Avec une capacité presque aussi grande que celle d'un Boeing 707†, elle pourra emporter un assortiment

*Une provision pour le financement du LANDSAT D et du Thematic Mapper figurait dans la proposition de budget pour l'exercice 1977-1978 que l'administration Ford a recommandée au Congrès en janvier 1977 avant son départ. Cette proposition, qui doit être examinée par le Congrès, ne prévoyait pas l'inclusion d'un MSS de première génération sur LANDSAT D. Dans un rapport de septembre 1976 contenant une analyse du Thematic Mapper et des besoins en informations sur les ressources et l'environnement dans 7 secteurs d'application, le CORSPERS insistait pour que l'on donne à LANDSAT D une double capacité en l'équipant à la fois du Thematic Mapper et d'un MSS du type LANDSAT C[1].

†Elle pourra emporter des charges utiles mesurant au maximum 4,5 m de diamètre et 18,3 m de long, et pesant près de 3 tonnes.

extraordinairement varié d'instruments nécessaires pour différentes expériences et également servir de plate-forme pour mettre sur orbite d'autres véhicules spatiaux, expérimentaux ou opérationnels. La navette doit également servir à la remise en état et à la récupération de futurs satellites de ressources terrestres. La navette spatiale accomplira chaque année plusieurs missions d'une durée de 7 à 28 jours. Elle servira de banc d'essai à des techniques, des conceptions et des instruments nouveaux nécessaires pour améliorer les possibilités des véhicules spatiaux des futures générations et pour rendre possible l'utilisation de combinaisons d'instruments pesants et volumineux.

L'orbite de la navette spatiale et les instruments qu'elle emportera varieront avec chaque mission. Sa contribution à la télédétection de la Terre présentant de l'intérêt pour les pays en voie de développement devrait porter principalement sur l'accumulation progressive, tout au long de la prochaine décennie, de données sur les ressources terrestres provenant d'un grand nombre de systèmes de détection, et notamment des chambres à haute résolution que la navette pourra emporter dans plusieurs de ses missions. On peut s'attendre que ces données améliorent l'inventaire des ressources naturelles, en particulier des structures géologiques et des caractéristiques de la végétation naturelle, et répondent aux besoins de l'étude de l'occupation des sols dans de nombreux secteurs. Mais comme elle ne volera ni régulièrement ni en permanence au-dessus des mêmes scènes, la navette ne pourra pas, pour autant qu'on puisse en juger dès maintenant, répondre aux besoins d'une surveillance de routine. Ce sera en partie la tâche de LANDSAT D et, éventuellement, des satellites spécialisés qui pourront être mis au point postérieurement à 1985.

### Satellite synchrone d'observation de la Terre (SEOS)

Le satellite proposé sous ce nom pourrait être une plate-forme combinée météorologie et ressources terrestres qui serait placée en un point de l'orbite géosynchrone (36 000 km) d'où il observerait la totalité de l'hémisphère occidental. Ses télescopes à haute puissance pourraient être pointés pendant de longues périodes sur des zones particulières pour en prendre des images à haute résolution.

Parmi les instruments du SEOS figureraient probablement des caméras transistorisées, un système de télémesure de la nouvelle génération et des spectromètres pour la détection de la pollution. Ce satellite a pour destination principale d'étudier les phénomènes de courte durée, accidents météorologiques tels que inondations étendues ou tempêtes violentes, et ayant des caractéristiques particulières, tels que dynamique des estuaires, grands incendies, etc.

**La pénétration de la couverture nuageuse**

La persistance de la couverture nuageuse pendant une bonne partie de l'année limite gravement l'intérêt potentiel de la télédétection spatiale pour certains pays, notamment ceux qui sont situés dans la zone tropicale humide. Les détecteurs de LANDSAT, qui travaillent dans les portions visible et infrarouge du spectre électromagnétique, ne peuvent pas traverser les nuages. Deux méthodes ont été proposées pour résoudre ce problème : les détecteurs hyperfréquences et une couverture fréquente avec des détecteurs multibandes embarqués sur des satellites géostationnaires ou à orbite basse.

Les détecteurs opérant dans la bande millimétrique (jusqu'à 1 m) peuvent pénétrer tous les nuages, la plupart des formations pluvieuses et certaines catégories de végétation*. L'un des types de détecteur hyperfréquence jugés utiles pour la détection des ressources naturelles est le radar à synthèse d'ouverture. Un radar de ce type, à une seule bande de fréquence (bande L), à polarisation horizontale et ayant une résolution de 25 m, sera embarqué sur la satellite SEASAT A. Mais selon les plans actuels pour ce satellite, la réception de sa télémesure radar sera située principalement en Amérique du Nord ou à proximité, avec un rayon de réception maximal de 2300 km. La couverture radar des pays en voie de développement par SEASAT A ou par de futurs satellites du même type aurait un certain nombre d'applications intéressantes en matière de ressources. Elles seront exposées en détail plus loin dans l'étude des applications de la télédétection à plus long terme pour illustrer leur contribution probable et pour souligner la nécessité d'une étude approfondie de leur rôle dans un programme de télédétection axé sur les besoins des pays en voie de développement.

La conception d'un radar expérimental multifréquence, multipolarisation est actuellement à l'étude en vue d'une mission de la navette. En raison de ses caractéristiques particulières, notamment ses multiples angles de visée et sa sensibilité aux différences de texture, et du fait de son pouvoir de séparation accru, un tel radar pourrait faire faire un grand pas aux moyens d'investigation des cultures, forêts, terrains de parcours et ressources en eau. Avec un recouvrement approprié des traces du radar (chevauchement latéral), on pourra réaliser un effet stéréoscopique qui serait utile pour les levés géologiques et autres types de cartographie des ressources. Si l'expérience proposée était mise en chantier et donnait de bons résultats, elle pourrait ouvrir la voie à la mise au point de radars spécialisés et polyvalents pour les plates-formes spatiales des années postérieures à 1985.

*Les détecteurs hyperfréquences sont de deux types : passifs et actifs. Les premiers enregistrent l'énergie électromagnétique émise par les caractéristiques de la surface. Les systèmes actifs (radars) comportent un émetteur qui envoie sur des cibles des impulsions d'énergie ; le détecteur reçoit et enregistre les signaux en retour.

L'Agence spatiale européene examine la possibilité de réaliser un programme européen de satellites de ressources terrestres fondé sur des détecteurs hyperfréquences actifs et passifs.

Des satellites couvrant les latitudes basses, géostationnaires ou à défilement, mais équipés de détecteurs multibandes seraient particulièrement précieux pour les pays de la zone tropicale où règne une couverture nuageuse persistante. Leurs avantages tiendraient au très grand nombre d'images que peuvent prendre chaque jour des satellites en position fixe par rapport à la Terre (sur orbite géostationnaire équatoriale), ou à l'accroissement des fréquences de la couverture de satellites sur orbite faiblement inclinée par rapport à celle de satellites sur orbite polaire (comme les LANDSAT*). Outre la plus grande probabilité d'acquérir des images comportant relativement peu de nuages, la couverture du satellite géostationnaire serait précieuse pour la détection thermique des caractéristiques géologiques et hydrologiques.

L'un des inconvénients de ces satellites équatoriaux serait l'absence d'éclairement uniforme par le soleil, bien que l'on puisse choisir des images prises approximativement à la même heure du jour. Une enquête sur les mérites d'un satellite tropical de ressources naturelles a été lancée en 1973 sous les auspices du Brésil. Il ne semble pas que l'on ait entrepris depuis d'autres études. La réception régulière de données répétitives que permettrait un réseau de stations réceptrices réparties tout autour du globe ou un satellite de relais de données comme le TDRSS (voir page 125), et l'utilisation éventuelle de satellites radar comme le SEASAT, en particulier au-dessus des régions où les nuages sont fréquents, pourraient réduire la nécessité de satellites à orbite équatoriale ou quasi équatoriale. Cette option méritera d'être réétudiée dans quelques années à la lumière de l'expérience acquise.

## Applications à plus long terme (1981-1985)

Si le programme LANDSAT D se concrétise, l'avenir à plus long terme dans le domaine des applications de la télédétection portera principalement sur l'utilisation des données du Thematic Mapper pour l'inventaire et la surveillance des ressources. Des adjonctions intéressantes aux éléments d'inventaire pour les pays en voie de développement pourront également provenir des chambres à haute résolution de la navette spatiale et, dans certaines conditions, des radars à prise d'images. La surveillance des ressources et la prévision des récoltes, nécessaires pour faire face aux besoins d'un pays particulier comme à l'échelle du globe, peuvent également tirer un grand parti du progrès

*Il est possible, avec un seul satellite non héliosynchrone, d'obtenir une fréquence de couverture de 4 à 6 jours, en fonction de l'inclinaison de l'orbite du satellite et de la zone intéressée.

des satellites météorologiques et des détecteurs hyperfréquences, sans oublier les améliorations qu'il est raisonnable de prévoir en matière de traitement, transmission et diffusion des données des satellites.

Le développement des moyens qu'il est possible de prévoir dans les différents secteurs des applications pour la période 1981-1985 et leur intérêt potentiel pour les pays en voie de développement ou pour la collectivité mondiale sont exposés ci-après. Les prévisions sont fondées sur plusieurs hypothèses qu'il n'est pas inutile de rappeler explicitement :

*Les satellites et détecteurs envisagés seront effectivement disponibles.*

*Les nouvelles technologies parviendront de concert avec les autres moyens de collecte des données à un niveau de fonctionnement approprié.*

*Les travaux de R & D nécessaires dans les techniques analytiques de pointe comme la modélisation seront réalisés.*

**Production agricole**

- Amélioration de la perception des contrastes sol/culture et détermination plus précise des limites des sols.
- Amélioration substantielle des techniques d'échantillonnage statistique pour l'estimation des surfaces cultivées avec les principales céréales alimentaires en général, notamment dans les zones à petites parcelles et à polyculture. Cette amélioration pourrait résulter de l'utilisation (1) des données multibandes du Thematic Mapper sur 30 m, (2) de photographies en couleur et en fausse couleur IR peu fréquentes, mais à haute résolution, prises de la navette spatiale ; et (3) d'images des zones nuageuses prises par le radar sur 25 m, notamment dans les tropiques (si possible au-dessus de pays en voie de développement). Pour que ces données de télédétection aient toute leur utilité, il faudra les exploiter en synthèse avec un échantillonnage au sol statistiquement bien conçu.
- Améliorations significatives de l'estimation des rendements pour différentes récoltes dans le cadre du programme LACIE des Etats-Unis par synthèse dans un système de modélisation approprié sur calculateur des données suivantes : (1) modèles de rendement/dépérissement pour les céréales autres que le blé, notamment le maïs, le sorgho et le riz ; (2) données de satellites météorologiques ; (3) données météorologiques au sol ; (4) données sur le type et l'état d'une récolte prises au sol dans un échantillonnage approprié ; (5) observations au sol des estimations de rendement ; (6) données du Thematic Mapper ; et (7) le cas échéant, données de radars de prise d'images.
- Réduction sensible de l'erreur sur l'estimation des rendements au moment de la récolte ou un peu avant, si les améliorations ci-dessus sont

réalisées et peuvent être utilisées de façon opérationnelle dans les pays en voie de développement.

• Capacité utile de détecter et surveiller régulièrement les maladies régionales affectant les récoltes (charbons, rouilles, etc.) avec les résolutions spectrale et géométrique améliorées qu'assurerait LANDSAT D. Il est improbable que ce résultat soit obtenu avant 1985 dans la mesure où il faudra disposer d'une masse substantielle de données fournies par le Thematic Mapper, parallèlement à une modélisation et une prévision par satellite météorologique des conditions qui prédisposent les principales céréales alimentaires à la maladie, et ce à un stade précoce.

**Gestion des terrains de parcours**

• Amélioration substantielle des inventaires de types de terrains et de la surveillance de l'amélioration des terrains à l'aide de LANDSAT D.

• Moyens améliorés de surveiller l'état végétal des terrains de parcours, dans l'hypothèse d'une intégration systématique des données provenant d'un certain nombre de satellites et de différents modèles environnement/végétation. Parmi ces derniers figureraient des modèles sur la croissance des herbes fourragères, sur la prévision de l'humidité des sols, et sur la surveillance des bilans hydrologiques et énergétiques. Le Thematic Mapper aurait des caractéristiques de résolution suffisamment proches de celles du système de prises de vue S-190 B du SKYLAB pour qu'on lui attribue des qualités remarquables dans la détection de la végétation verte active, la classification précise de la végétation verte avec couverture complète du sol, et l'échantillonnage pour estimation de la biomasse des terrains de parcours.

• Etablissement dans les pays en voie de développement d'une base d'évaluation améliorée pour la localisation des puits exploratoires, pour l'emplacement des villages, pour la prospection d'eaux souterraines et de réserves hydrauliques, et pour une rotation efficace des parcours de troupeaux. Même si elle est relativement grossière, la capacité de surveillance dans la bande thermique des satellites SMS et GOES ne sera pas sans intérêt pour localiser les ressources en eau à quelques mètres de la surface. Le Thematic Mapper serait proportionnellement plus utile en raison de sa meilleure résolution géométrique.

• Amélioration des études des phases phénologiques de la biomasse verte et de l'intensité du pâturage. Utilisé en combinaison avec les détecteurs hyperfréquences de satellites météorologiques, le Thematic Mapper permettrait d'évaluer les risques de surpâturage et d'érosion éolienne en détectant les zones où l'humidité du sol est faible et où la couverture végétale a été fortement détruite.

**Gestion des forêts**

• Amélioration des inventaires forestiers et des cartes correspondantes du fait que le Thematic Mapper est davantage capable d'identifier des caractéristiques de petite dimension (par exemple zones reboisées, clairières, routes forestières et opérations similaires), ce qui diminuerait la nécessité de recueillir, dans les études quantitatives du bois sur pied, les données aériennes pour le choix des lieux d'échantillonnage et pour le repérage des propriétés. Cela réduirait le coût des inventaires et améliorerait l'efficacité des sondages.

• Gain de précision dans la classification des types de forêt en raison des différentes améliorations que comporte le Thematic Mapper. Ce gain serait très vraisemblablement le plus net dans les zones où les ensembles d'essences sont clairement différenciés.

**Gestion des ressources en eau**

• Amélioration de la surveillance des trois variables du cycle hydrologique : fonte des neiges, évapotranspiration, et humidité des sols.

Dans les régions où d'importantes accumulations neigeuses gouvernent à la fois la production hydroélectrique et l'irrigation, la mesure de la superficie du manteau nival et de la fonte des neiges au printemps peut être améliorée avec la détection par satellite, les DCS, et quelques sondages *in situ*. Cela pourrait mener au développement de centres régionaux d'alerte instantanée aux crues, tandis que la précision accrue de l'évaluation du rendement en eau et la meilleure gestion des installations hydroélectriques s'accompagneraient d'économies. Les satellites météorologiques, LANDSAT D, et des satellites hydrologiques spécialisés auraient un rôle à jouer ici. Le radar à prise d'images serait particulièrement intéressant à cet égard.

La détermination de l'évapotranspiration, qui n'est nulle part mesurée de façon appropriée, nécessite des données sur la couverture nuageuse et le type de nébulosité, ainsi que sur la température de l'air et du sol, la vitesse des vents, etc. En faisant la synthèse de données au sol avec celles de satellites météorologiques synchrones et autres, bon nombre de ces facteurs peuvent être évalués avec une précision suffisante pour réaliser un grand pas en avant dans la connaissance de la demande en eau des régions à pluviosité variable ou faible. D'importantes recherches sont déjà en cours sur les modèles de la demande en eau, principalement dans le cadre du programme LACIE.

La recherche débutant actuellement, les procédés d'estimation de l'humidité des sols devraient être quasi opérationnels au début de la prochaine décennie. S'ils donnent les résultats escomptés, il devrait être possible d'évaluer au plan régional le rendement en eau, l'effet des sécheresses, etc. à

des échelles spatiales et temporelles beaucoup plus fines que celles dont disposent maintenant même les pays ayant une technologie de pointe. Les futurs satellites emportant des détecteurs hyperfréquences, les satellites météorologiques et LANDSAT D auront différents rôles à jouer dans ce processus d'estimation.

• Amélioration de la surveillance des précipitations et de la température. Dans les régions où les précipitations sont généralement du type convectif (provenant de cumulus), fréquentes aux latitudes tropicales, les indications dont on dispose montrent qu'en utilisant les données de SMS et de GOES, on peut obtenir des estimations de la pluviosité totale sur une grille de 40 km sous forme de moyennes mensuelles avec une erreur maximale de 15 %[2]. Avec des améliorations supplémentaires, la marge d'erreur pourra encore diminuer.

• Amélioration du bilan hydrologique en raison de mesures directes des températures du sol, procédé qui devrait être opérationnel d'ici cinq ans à l'aide des satellites météorologiques.

• Amélioration modérée des prévisions météorologiques en matière de température et, à un moindre degré, de pluviosité, passant de 24 à 72 h. Les progrès réalisés dans ce sens au cours des cinq dernières années aux Etats-Unis peuvent être envisagés pour les pays en voie de développement au cours de la prochaine décennie. Il pourrait en résulter une prévision plus précise des inondations et des phénomènes météorologiques ayant de graves conséquences sur les populations, ainsi qu'une amélioration des méthodes de décharge des eaux dans les installations hydro-électriques et les systèmes d'irrigation.

• Meilleure connaissance et précision accrue de l'estimation du débit des fleuves à court terme et du rendement des eaux sur de longues périodes, qui seraient le résultat des améliorations mentionnées plus haut et de l'utilisation conjointe des données provenant de satellites météorologiques et hydrologiques, de satellites mesurant la dynamique des océans et de satellites de ressources terrestres.

• Meilleure prévision des crues dans les pays en voie de développement par l'utilisation de satellites du type SMS ou GOES conjointement avec des DCS et d'autres satellites météorologiques.

• Amélioration marquée de la surveillance des crues et de l'évaluation des dommages dus aux inondations avec l'aide, le cas échéant, du radar à prise d'images opérant à travers la couverture nuageuse. Si la couverture nuageuse est nulle ou inexistante, le Thematic Mapper ainsi que les systèmes photographiques et systèmes de détection multibandes à haute résolution que pourrait emporter la navette seront d'un grand intérêt.

• Amélioration des prévisions de la demande en eau, conduisant à des économies notables par une utilisation efficace de l'eau d'irrigation. Ces pré-

visions feraient appel à des modèles de dépérissement pour les plantes ; à la synthèse des observations météorologiques et au sol du bilan radiatif, du vent, de la température et du déficit en vapeur d'eau ; aux observations dans l'infrarouge thermique du SMS et à d'autres données. Le Thematic Mapper pourrait également être utilisé pour surveiller les types et l'état de maturation des cultures, conduisant ainsi à une amélioration supplémentaire des prévisions des besoins probables en eau agricole.

- Amélioration de la connaissance des localisations spatiales et temporelles des eaux de surface ; des régions propres à une prospection approfondie des eaux souterraines ; et des effets du bilan hydrologique sur l'occupation des sols, sur la base de données de meilleure qualité fournies par LANDSAT D ou d'autres satellites de ressources terrestres.

### Etudes géologiques et exploration pétrolière et minière

- Amélioration de la cartographie géologique, avec une meilleure connaissance des structures géologiques, une meilleure définition des discontinuités lithologiques, et la détection de petits corps intrusifs comme les dykes, délimitation des petits systèmes de fracture, et technique affinée des "bandes contrastées" pour détecter les zones d'altération qui peuvent être un signe de minéralisation : tous ces résultats pourraient être obtenus avec la résolution de 30 m et les bandes dans l'infrarouge proche du Thematic Mapper.
- Observation, au moyen du radar à prise d'images, de zones montagneuses ou de zones tropicales humides à forte couverture nuageuse qui ne peut être réalisable par aucun autre moyen. L'effet stéréoscopique des images du radar à recouvrement latéral serait également important pour améliorer la cartographie géologique exploratoire et pour réduire encore les frais de première exploration dans la prospection minière. (La qualité de cette stéréoscopie serait égale à celle que l'on obtient par avion.) La navette spatiale pourrait également porter des chambres photographiques à haute résolution pointées vers l'avant et l'arrière qui fourniraient une stéréoscopie plus détaillée pour la recherche des petits corps intrusifs et des systèmes de fracture.

L'amélioration substantielle de la cartographie géologique et la plus grande efficacité de la prospection minière et pétrolière qui pourraient découler du Thematic Mapper, du radar à prise d'images et des chambres photographiques de la navette seraient autant d'avantages sans précédent pour les pays en voie de développement.

### Cartographie

- Amélioration de la qualité des cartes planimétriques du fait de la haute résolution géométrique du Thematic Mapper : 30 m, à comparer aux 40 m des caméras RBV de LANDSAT C.

• Avantages offerts à la cartographie par les chambres à haute résolution que la navette pourrait emporter au cours de certaines missions.

**Occupation des sols—Aménagement du territoire**

• La sensibilité du Thematic Mapper devrait augmenter notablement les moyens de classer les occupations des sols et de détecter davantage de caractéristiques des zones urbaines dans les régions où la densité des arbres est modérée à forte. La photographie à résolution plus élevée qui sera peut-être réalisable lors de missions de la navette spatiale aurait également de l'intérêt pour les études de l'occupation des sols urbains dans les zones couvertes. Comme cette discipline ne nécessite généralement pas de modélisation complexe, les avantages procurés par le Thematic Mapper et les instruments de la navette pourraient sans doute être obtenus facilement et pour un coût relativement modique dans les pays en voie de développement.

**Protection de l'environnement**

• Détection et surveillance des fuites d'hydrocarbures avec le radar à prise d'images.

• Meilleures possibilités de surveillance des problèmes d'environnement à évolution progressive, par exemple érosion des sols, détérioration des pâturages et terrains de parcours, et modifications intempestives dans les zones marécageuses. De nombreux problèmes d'environnement qui sont indiqués ou confirmés par des modifications de la densité ou de l'assemblage d'espèces végétales pourraient être détectés rapidement par le Thematic Mapper ; certains peuvent être relevés dans les données fournies par les instruments de la navette. Toutefois, l'avion continuera d'avoir un rôle à jouer dans la solution des problèmes d'environnement qui nécessitent une très haute résolution ou une couverture à grande périodicité.

**Ressources maritimes, océanographie, et génie côtier**

• Meilleure information sur la dynamique des océans et les zones potentielles de pêche, tirée des données de SMS et GOES sur les courants côtiers et les régions de courants ascendants, et combinées avec les données du Thematic Mapper et des détecteurs hyperfréquences et thermiques de SEASAT. Comme la couverture du SMS se situe entre 45°N et 45°S, les régions côtières de pratiquement tous les pays en voie de développement seront observées. Par contre, le repérage direct des bancs de poisson reste du domaine du l'avion.

• Amélioration de la cartographie du plateau continental, intéressante pour l'exploration du pétrole en mer et pour la localisation des forages,

dragages et opérations minières sous-marines, avec l'aide du détecteur "couleur des océans", que doit emporter l'un des premiers satellites NIMBUS, et de la résolution géométrique et temporelle améliorée du Thematic Mapper.

- Du fait de l'amélioration des résolutions, moyens accrus de détecter des caractéristiques de petite dimension dans la circulation de masses d'eau, de surveiller les zones marécageuses, de donner l'alerte en cas de fuites d'hydrocarbures ou de dégazages illégaux, et de suivre les modifications de l'état des hauts fonds. Les chambres photographiques emportées par la navette seraient utiles pour repérer les altérations du littoral et pour détecter les modifications apportées aux caractéristiques des côtes par les ouragans.

#### Prévision et évaluation des catastrophes naturelles

- Amélioration de la cartographie des zones inondées par l'utilisation des radars à prise d'images capables de traverser la couche nuageuse, à la condition que la couverture soit suffisamment fréquente (périodicité de 36 heures pour la SEASAT) pour que nombre de grandes inondations soient observées à leur point culminant ou presque. Cela permettrait d'établir de meilleures prévisions au sujet de l'arrivée de la crête et de l'importance de la crue en aval.
- Meilleure surveillance à la suite d'un cataclysme du fait de l'amélioration des résolutions géométrique, spectrale, temporelle et radiométrique du Thematic Mapper.

### Autres plates-formes de collecte de données

Dans les dix années qui viennent, la collecte de données sur les ressources terrestres fera également appel à des plates-formes de détection autres que les satellites, en particulier des systèmes de collecte des données au sol et l'avion.

#### Systèmes de collecte de données via satellite

Le Système de collecte de données (DCS) actuel se compose d'un petit nombre de plates-formes automatiques de surveillance de l'environnement installées en différentes parties du monde et qui peuvent être surveillées localement via les relais de télécommunications des satellites LANDSAT, météorologiques et autres. A l'avenir, bon nombre de ces plates-formes au sol seront probablement utilisées pour recueillir des données en temps quasi réel intéressant une large gamme d'applications, comme le laisse entendre le tableau 5.

Les plates-formes de surveillance comme les terminaux d'utilisateurs pour la réception des données des DCS via satellite sont relativement peu coûteux. Certaines plates-formes, qui fonctionnent généralement de façon automatique

TABLEAU 5 Paramètres surveillés au moyen des systèmes de collecte de données

| Applications | Paramètres | |
|---|---|---|
| Hydrologie | Débit des cours d'eau<br>Niveau des réservoirs | Eaux souterraines |
| Qualité de l'eau | Oxygène dissous<br>pH<br>Conductivité | Température<br>Turbidité<br>Produits chimiques |
| Météorologie | Température<br>Précipitations<br>Humidité | Pression<br>Vents<br>Rayonnement solaire |
| Vulcanologie | Clinométrie<br>Phénomènes sismiques | Gaz de fumerolles<br>Température |
| Agriculture | Température air/sol<br>Humidité du sol<br>Evaporation | Rayonnement solaire<br>Produits chimiques |
| Animaux sauvages | Localisation<br>Température du corps<br>Rythme cardiaque | Activité encéphalique<br>Respiration |
| Océanographie | Température air/mer<br>Salinité<br>Turbidité | Hauteur des vagues<br>Période des vagues<br>Courants |

pendant des périodes atteignant six mois, coûtent désormais $ 5000 ou moins, et leur coût pourra approcher $ 500 dans un proche avenir si leur production se développe. Les terminaux locaux d'utilisateurs sont chiffrés environ $ 150 000, y compris l'antenne et les récepteurs.

### Plates-formes d'avion

Un certain nombre de missions d'étude des ressources naturelles qui ne pouvaient, jusqu'à une date récente, être accomplies que par avion, peuvent désormais être confiées aux détecteurs de satellites, substitution qui devrait encore s'élargir avec les performances que l'on escompte de ces derniers pour l'avenir. Néanmoins, l'avion aura encore un rôle important à jouer en fournissant des données à haute résolution ainsi que les données d'étalonnage et d'échantillonnage aériens nécessaires pour qu'un système de détection à plusieurs niveaux soit équilibré. De plus, certains détecteurs donnent de bons résultats sur un avion et non sur un satellite. Il s'agit notamment de nombre des instruments géophysiques, des dispositifs de mesure du rayonnement ultraviolet et gamma, et, jusqu'à un certain point, des lasers et de différents instruments hyperfréquences passifs.

Comme aucun type de plate-forme ne peut faire face à tous les besoins, on continuera d'utiliser une large gamme d'avions à différentes fins : hélicoptères, avions légers volant jusqu'à 5000 m d'altitude, avions lourds jusqu'à 10 000 m, et appareils de haute altitude, dont un type sera prochainement disponible dans le commerce, atteignant 20 000 m. La souplesse inhérente à l'avion en matière de plan et de programme de vol en fait une plate-forme efficace pour obtenir des images dans les zones à couverture nuageuse persistante et pour les opérations de détection spécialisées, utilisant des instruments comme les chambres photographiques, radars et radiomètres, ainsi qu'une gamme d'analyseurs à balayage allant du modèle à un seul canal thermique aux appareils multibandes.

## Le secteur sol : réception, traitement, gestion et analyse des données

Il faut également s'attendre que d'importants changements apparaissent au cours des 5 à 10 prochaines années dans les caractéristiques, les moyens et le coût de l'équipement au sol des systèmes de détection par satellite, et que des pays en voie de développement soient alors en mesure, isolément ou dans le cadre de groupements régionaux, d'acquérir les mécanismes et d'utiliser les produits de cette technologie nouvelle.

### Réception des données

Les pays ou groupements régionaux qui envisagent d'établir à l'avenir des stations de réception pour l'acquisition des données multibandes de LANDSAT C et des données planimétriques de son RBV peuvent se procurer des équipements immédiatement disponibles. Les coûts d'une installation de réception ont peu de chance de varier beaucoup au cours des cinq prochaines années (voir pages 127-128).

Deux réalisations de première importance pourraient influer sur les décisions nationales et régionales en matière de réception des données postérieurement à 1980-1981. La première est un plan, actuellement à l'étude à la NASA, visant à établir un Système de satellites de poursuite et de relais de données (TDRSS) vers 1980. A l'aide de deux satellites géostationnaires, le TDRSS recevrait les données de télémesure de tous les satellites de collecte de données, y compris les LANDSAT, et les retransmettrait à une seule station de réception située aux Etats-Unis. Cela supprimerait la nécessité des enregistreurs de bord et constituerait un moyen de réception de renfort ou de rechange à l'égard des stations de réception au sol existantes. Ces dernières n'en pourraient pas moins continuer à avoir directement accès aux LANDSAT du type actuel.

Le deuxième événement important en matière de réception des données de télédétection serait la mise sur orbite du LANDSAT D envisagé. Si un détecteur MSS ayant des caractéristiques de longueurs d'ondes et de résolution identiques à celles des LANDSAT actuels était installé sur LANDSAT D parallèlement au Thematic Mapper plus perfectionné, les installations de réception et de traitement au sol adaptées aux données à plus faible résolution pourraient continuer de fonctionner bien au-delà de 1980. Mais l'équipement des stations devrait être modifié jusqu'à un point restant à préciser pour pouvoir recevoir et traiter les données du Thematic Mapper, dont le débit sera beaucoup plus élevé.

Les données relayées par le TDRSS pourraient être retransmises rapidement sous forme numérique via des satellites de télécommunications aux utilisateurs installés dans d'autres points du monde, ou leur être acheminées par des moyens de transmission plus classiques. Parmi les possibilités envisagées pour la diffusion des données relayées par le TDRSS figurent les liaisons avec le centre de données EROS. Ce centre retransmettrait les données sous forme brute ou traitée aux organismes nationaux ou régionaux ainsi qu'aux utilisateurs individuels étrangers qui en feraient la demande, selon des modalités comparables à son organisation actuelle, mais à un rythme fortement accéléré. Des retransmissions en temps quasi réel pourraient être réalisées en cas de besoin via des satellites de télécommunications en direction des différentes stations terriennes d'INTELSAT. Mais il faudrait sans doute développer de nouveaux équipements récepteurs et émetteurs spécialisés pour absorber la lourde charge des données provenant du Thematic Mapper. Les incidences financières et opérationnelles d'un tel procédé indirect de réception et de retransmission n'ont pas encore été évaluées pour ce qui concerne les pays en voie de développement.*

### Traitement des données

Le progrès technologique que connaissent les calculateurs en général et les instruments de traitement des données de la télédétection en particulier aura des répercussions sur l'utilisation des produits de données dans les pays en voie de développement. Les procédés de traitement sur machine qui se font jour ne se contentent pas de simplifier un grand nombre de tâches complexes et longues à réaliser dans d'autres conditions, mais permettent également d'extraire des données numériques un nombre beaucoup plus important d'in-

*Au moment de mettre sous presse paraît une première étude portant sur ces questions. Un rapport[3] préparé pour l'Agence pour le développement international par l'Institut de recherche sur l'environnement du Michigan en août 1976 conclut que l'utilisation de satellites de télécommunications pour retransmettre en direction de centres régionaux à l'étranger les données locales recueillies aux Etats-Unis via le TDRSS serait beaucoup moins coûteuse que d'autres moyens de diffusion des données.

formations plus détaillées. La souplesse et la complexité croissantes du matériel au sol en cours de développement compensent sur des points importants les insuffisances du système de détection des satellites, permettent le traitement rapide de grands volumes de données brutes et, pour certaines applications, entraînent une réduction significative des besoins en personnel hautement qualifié.

Un système de traitement des données type procède aux corrections radiométriques et géométriques des données vidéo brutes, affiche les données vidéo pour leur mise en forme et leur tri, classe ces données pour la mise en lumière de caractéristiques choisies du terrain, et enregistre les données vidéo sur film ou CCT. Le coût total d'un tel système ne devrait guère varier d'ici 1980 malgré les améliorations qui peuvent être apportées à certains de ses éléments.

La NASA a estimé le montant actuel des investissements et frais de fonctionnement d'une station de réception "minimum" et d'une station au sol complète. La station minimum recevrait les données MSS du LANDSAT et traiterait jusqu'à 10 scènes par jour en fournissant du film de haute qualité et des CCT pour une petite communauté d'utilisateurs. La station complète traiterait jusqu'à 40 scènes par jour et diffuserait un grand nombre de produits sur film, papier et bande. Elle serait également en mesure de recevoir et traiter les données du RBV et comporterait un dispositif de "visualisation rapide" et des moyens de traitement de précision. Dans les frais de fonctionnement ne figurent pas l'entretien des bâtiments, la sécurité, les servitudes et autres frais de maintenance. Ces estimations sont les suivantes :

**Coût initial (en milliers de dollars U.S.)**

| | Station "Minimum" | Station complète |
|---|---|---|
| Antenne et équipement de réception | 400 | 500 |
| Equipement de prétraitement et enregistrement MSS | 120 | 440 |
| Equipement de prétraitement et enregistrement RBV | – | 550 |
| Processeur "visualisation rapide" | – | 200 |
| Equipement d'affichage et synchronisation | 10 | 150 |
| Equipement d'enregistrement des données "télémaintenance" (PCM) de LANDSAT | – | 30 |
| Labo photo | 60 | 250 |
| Equipement de traitement MSS (Apporte des corrections aux données et les convertit en film ou CCT) | 800 | 1 500 |

| | | |
|---|---|---|
| Equipement de traitement RBV (Apporte des corrections aux données et les convertit en film ou CCT) | – | 400 |
| Equipement de traitement de précision | – | 500 |
| Installation et essai du système | 135 | 250 |
| Manuels | 50 | 250 |
| Rechanges | 75 | 400 |
| Equipements d'essai spéciaux | 100 | 300 |
| Formation sur place | 150 | 280 |
| TOTAL | 1 900 | 6 000 |

**Frais de fonctionnement annuels (en milliers de dollars U.S.)**

| | Station minimum | Station complète |
|---|---|---|
| Exploitation et maintenance du système | 600 | 1 200 |
| Consommables (Films, bandes magnétiques, etc.) | 100 | 400 |
| Contrats de maintenance des équipements spéciaux | 50 | 75 |
| TOTAL | 750 | 1 675 |

Tandis que le passage des calculateurs à usage général aux minicalculateurs et aux microcalculateurs aura probablement pour conséquence une forte réduction du coût unitaire des calculs, il est à prévoir que l'utilisation accrue des technologies de pointe, l'augmentation de la charge en données et, partant, le nombre de calculs provoqueront une hausse des frais d'exploitation. Il est vraisemblable que les économies sur le capital ou sur les frais d'exploitation des calculateurs seront absorbées par l'augmentation du débit et par des achats de matériels périphériques d'analyse numérique, tels ceux qui seront nécessaires pour que plusieurs analystes puissent traiter simultanément différentes scènes de LANDSAT.

Pour nombre d'objets de la gestion des ressources, traiter rapidement et recevoir à temps les produits des données traitées, que ce soit en image ou sous forme numérique, sont des considérations importantes. La rapidité du traitement ne dépend que partiellement de la capacité des équipements. Sur les 8 à 10 heures qu'il faut aujourd'hui pour traiter une scène normale de LANDSAT, à peine un dixième du temps est passé sur calculateur. La totalité du temps nécessaire pour procéder à des opérations comme le tri des données, le choix des plans témoins, la production d'images, etc. dépend en général de

l'opérateur et de la vitesse à laquelle peuvent fonctionner les périphériques, lecteurs de bande, enregistreurs sur disque et film par exemple.

Le temps qu'il faut aujourd'hui aux utilisateurs de tous les pays pour obtenir des produits de LANDSAT du type actuel devrait diminuer substantiellement à mesure que des installations de réception et de traitement supplémentaires entreront en service dans le monde entier et que seront mis à exécution les plans de la NASA et du centre de données EROS de Sioux Falls qui prévoient l'installation d'équipements à débit plus élevé. A la suite de ces modifications, les délais de livraison du centre EROS tout au moins devraient diminuer d'ici la fin de 1977 en passant des 3 à 8 semaines actuelles à moins d'une semaine.

### Gestion et analyse des données

Des équipements numériques plus rapides ne manqueront pas d'accroître la capacité des systèmes de stockage et de diffusion des données qui seront adaptés aux besoins des utilisateurs en matière d'informations sur les ressources naturelles. L'offre de sous-systèmes automatiques augmentera certainement, mais la demande dépendra du volume et de la nature des travaux à exécuter. Par exemple, des produits de qualité comme les photographies en couleur peuvent être réalisés avec plus de précision par des moyens automatiques que par les spécialistes, même les plus compétents.

L'élément central de tout équipement d'analyse restera vraisemblablement le terminal interactif d'analyse des données (IDAT). Etant donné que, sur le temps total nécessaire pour analyser une scène de LANDSAT, le temps demandé au sous-système de calcul d'un IDAT est minime, un nouvel effort de R & D devra porter principalement sur l'amélioration des périphériques et du logiciel de l'IDAT de sorte que l'équipement central puisse être utilisé concurremment par un certain nombre d'analystes. Le prix d'achat actuel d'un système IDAT : $ 250 000 à 500 000 en fonction des périphériques, variera vraisemblablement peu au cours des cinq prochaines années.

## Notes

1. National Research Council, Commission on Natural Resources, Committee on Remote Sensing for Earth Resource Surveys. *Resource and Environmental Surveys from Space with the Thematic Mapper in the 1980's* (Washington, D.C., 1976).
2. E. Merritt *et al.*, *EARTHSAT Spring Wheat System Test 1975: Final Report*, préparé pour le L.B. Johnson Space Center, Houston, Texas, U.S. NASA, Contract #NAS-9-14655 (Washington, D.C., Earth Satellite Corporation, April 1976), pp. 6-1 to 6-43.
3. Environmental Research Institute of Michigan, *A Preliminary Assessment of AID's Requirements for a LANDSAT Follow-on Satellite*, préparé pour l'Office of Science and Technology, U.S. Agency for International Development (Ann Arbor, Michigan, 1976).

# VI L'utilisation de la télédétection dans les pays en voie de développement

Dans les deux chapitres qui précèdent, nous avons examiné la technologie de la télédétection spatiale essentiellement sous l'angle de sa capacité actuelle et de ses possibilités probables à l'avenir en matière de *collecte des données*, en insistant principalement sur les aspects de la télédétection qui touchent le matériel et l'extraction des données. Mais c'est dans l'*utilisation des données*, où prédominent les problèmes de main-d'œuvre et les contraintes institutionnelles et opérationnelles, que la technologie recontre sa pierre de touche et que doivent être évaluées ses perspectives pour les pays en voie de développement.

L'apport de la télédétection à l'évaluation des ressources naturelles dépend de la simplicité ou de la complexité des ressources à l'examen et du type de contribution que les détecteurs sont appelés à fournir. Les situations les plus simples mettent en jeu un phénomène unique, nettement délimité, et que des pays en voie de développement ne peuvent observer par d'autres moyens dans les conditions de délais voulues. Citons à titre d'exemple la cartographie des inondations ou la détection de terres agricoles nouvellement défrichées dans des zones que l'on met en valeur. Parmi les situations les plus complexes figure l'évaluation d'un système de gestion de ressources naturelles, production agricole par exemple, qui fait appel à de nombreux types de données aériennes, spatiales et au sol, à la modélisation des variables du système, à la gestion des données sur calculateur, et à l'application de procédés de pondération statistique affinés. Entre ces deux extrêmes, on trouve une large gamme de dosages éventuels des données de la télédétection et d'autres informations.

Jusqu'à présent, les pays en voie de développement comme les pays industrialisés ont eu tendance à s'intéresser principalement aux applications à des situations simples. C'est une démarche normale du fait que ces situations sont plus faciles à cerner, ne nécessitent qu'un effort modeste de recherche et de développement, et que la contribution que la télédétection peut y apporter est explicite, directe et plus facile à comprendre. De plus, l'apport des données de télédétection ne perturbe pas, ou guère, les méthodes d'évaluation des données en usage. En résumé, il s'agit de situations dans lesquelles les lacunes

sont faciles à combler et où la gêne apportée aux pratiques courantes est modeste.

L'application pratique de la télédétection en tant qu'élément d'un système totalement intégré de modélisation, évaluation, prévision et bilan des ressources en eau ou de la production de blé, à titre d'exemples, est pourtant révolutionnaire à bien des égards. Un travail étendu de recherche et de développement, notamment la mise au point de modèles de croissance végétale, doit quand même être accompli pour que cette insertion puisse être menée à bien ; cela fait, il n'est pas exclu que le nouveau système de données doive modifier profondément ou remplacer des méthodes existantes, avec les problèmes humains d'adaptation, de déplacement et de formation que cela entraîne. Dans le tiers monde, il est probable que seuls les pays possédant de grands établissements scientifiques et des structures administratives efficaces, ou ceux qui sont capables d'unir leurs efforts au plan régional, seront à même d'assimiler cette haute technologie et cette méthode systématique globale d'évaluation des ressources naturelles.

Le chapitre IV mettait l'accent sur les applications du premier type, autrement dit des techniques de télédétection simples, faciles à adopter, mais ne mesurant qu'une seule grandeur physique ; le chapitre V sur les systèmes plus intégrés qui nécessitent l'adoption d'une méthode de haute technologie ainsi que l'existence d'une capacité financière, institutionnelle et scientifique pour sa mise en œuvre.

Dans la pratique, aucune de ces deux situations n'a de chance de prévaloir à mesure que la technologie progressera, et que les pays et les agences internationales adapteront les solutions des problèmes particuliers à un faisceau de contraintes financières et sociales. De même qu'il existe dans les pays en voie de développement toute une gamme de potentiels économiques et scientifiques, de même les solutions qu'ils adopteront pour la télédétection couvriront-elles un large éventail.

Le choix entre les différentes options nécessitera un examen approfondi de la part des pays en voie de développement et des agences qui leur attribuent une aide extérieure. Sans trop s'engager, on peut malgré tout affirmer ceci : la télédétection spatiale doit encore connaître une période prolongée de progrès techniques. Il existe un retard parallèle dans l'adaptation concrète des instruments humains, sociaux et politiques par lesquels cette technologie sera canalisée à des fins utiles. Si cette technologie montre dès sa forme initiale qu'elle possède de nombreuses utilisations, il est possible que sa forme technique ultime et sa valeur sociale ne soient pas apparentes avant une autre décennie ou davantage. Entre les avantages modestes mais immédiats et les avantages étendus mais plus lointains que la télédétection paraît avoir en réserve, il existe une "courbe d'apprentissage" que tous les pays qui en seront les utilisateurs potentiels, pays de haute technologie comme pays en voie de

développement, devront parcourir et sur laquelle ils devront s'embarquer individuellement.

## L'entrée dans la télédétection

Un nombre étonnamment grand de pays ont déjà fait les premiers pas. Quelque 120 nations, dont les deux-tiers sont sur la voie du développement, ont acheté des produits de LANDSAT au centre de données EROS. En 1975, plus de 50 000 images de LANDSAT intéressant des zones en dehors des Etats-Unis ont été achetées par des utilisateurs publics et privés. Comme le montrent les tableaux par région ci-joints (Tableaux 6 à 8) et comme nous le verrons en détail ci-dessous, un grand nombre de pays en voie de développement se sont intéressés directement à cette nouvelle technologie et beaucoup ont pris des initiatives pour s'adapter à ses exigences.

Comment cette diffusion, ce transfert de technologie impliquant des capacités et des installations, se produisent-ils ? Ce processus, suffisamment répandu pour permettre un classement par catégorie, comporte trois phases.

### Phase 1 : la prise de conscience

Aucun pays ne s'est attelé à l'analyse et à l'interprétation des données de LANDSAT sans être passé par cette phase initiale. Nombre de pays en voie de développement, comme le Brésil, la Bolivie, l'Iran, l'Egypte et la Thaïlande, l'ont déjà largement dépassée. D'autres ne font qu'y entrer.

Habituellement, un ou plusieurs chercheurs, techniciens ou administrateurs d'un pays donné entendent parler du LANDSAT et décident d'étudier et d'évaluer des images que le satellite a prises dans des régions de leur pays présentant de l'intérêt. Les premières initiatives sont apparues, selon les pays, dans des cadres différents : universités, académies des sciences, instituts de recherche, institutions gouvernementales. Parmi les spécialistes qui ont ouvert la voie, on trouve des agronomes, des géologues, des pédologues, des hydrologues, des ingénieurs des travaux publics, des géographes, des forestiers, des ingénieurs électriciens et topographes.

Si la première réaction est positive, elle mène généralement à une nouvelle étape qui vise à obtenir une meilleure connaissance de la technologie et à édifier les moyens nécessaires à son application.

### Phase 2 : études de reconnaissance (au 1 : 250 000 ou à plus grande échelle)

Cette phase consiste essentiellement à utiliser des images de LANDSAT pour établir des cartes générales d'où seront tirées des informations utiles sur la terre, la végétation, les ressources géologiques et hydrauliques, etc.

Certains pays en voie de développement sont parfois limités dans leurs moyens d'interprétation et d'utilisation de ces images parce qu'ils manquent de personnel compétent pour la photo-interprétation ou des instruments analytiques et moyens cartographiques de base.

Mais lorsqu'un pays dispose d'un minimum de matériel et de personnel spécialisé, rien ne lui interdit d'acquérir une quantité substantielle d'informations intéressantes sur ses ressources naturelles avec un jeu de scènes de LANDSAT de son territoire. En plus de cartes photogrammétriques au 1 : 250 000 ou à plus grande échelle de zones inaccessibles par d'autres moyens ou médiocrement cartographiées, il pourra procéder à une première évaluation de ses terres agricoles, forestières et pastorales, repérer ses ressources en eaux de surface, compléter ses informations géologiques par des caractéristiques morphologiques importantes, et localiser les ressources naturelles que les détecteurs peuvent déceler sans difficulté et qui seront confirmées par une vérification au sol. En règle générale, les données permettant d'acquérir sans difficulté ce type d'informations peuvent être tirées de scènes représentant une seule couverture de la région, ou de plusieurs scènes prises à des saisons différentes.

**Phase 3 : etudes et surveillance au moyen de l'analyse numérique (au 1 : 25 000 ou à plus grande échelle)**

L'utilisation des données multibandes de LANDSAT sous forme numérique ouvre de nouvelles possibilités caractérisées par l'analyse sur calculateur et la manipulation des données. Les scènes de LANDSAT peuvent être utilisées sous forme numérique pour produire des images spécialisées destinées à l'analyse visuelle, pour délimiter des caractéristiques intéressantes par identification sur calculateur de motifs spectraux, ou pour procéder à une large gamme d'analyses statistiques, notamment l'établissement d'une base de données quantitatives pour tout ou partie de la surface du pays. L'utilisation des données numériques et des techniques sur calculateur permet d'analyser rapidement et à différentes échelles (c'est-à-dire avec grossissement) des motifs spectraux, de comparer quantitativement les réponses spectrales dans des données acquises à des périodes différentes, et d'analyser rapidement des différences spectrales entre cibles trop petites pour être détectées à l'œil nu. Ces moyens sont utiles pour la surveillance et la quantification des modifications tant naturelles que causées par l'homme dans l'environnement et, lorsque des modifications intéressantes sont détectables par l'analyse de signatures spectrales, les techniques sur calculateur sont souvent plus rapides et moins coûteuses que l'extraction "à la main" des mêmes informations.

Avec l'analyse numérique, un pays dispose d'une large gamme d'options pour la superposition de données multibandes de LANDSAT intéressant la même région, mais prises à des dates différentes. Les données représentant par

| ACTIVITES DE TELEDETECTION EN AFRIQUE | Source d'information | Participation officielle | | | | | | Programmes/projets de télédétection identifiables | | | | | | | Moyens et personnel disponibles | | | | | | | Enseignement et formation | | | Activités d'organismes extérieurs à l'intérieur du pays | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Infrastructure de télédétection | Intérêt ou participation indentifié | | | | | De base | | Type de données de base | | | | Traitement automatique des données | Moyens de base | | Collecte des données | | | Interprétation des données | | | | | | | | |
| | | | Agences gouvernementales | Défense | Scientifiques individuels | Secteur industriel/privé | Secteur universitaire | Identifiés? | Cartographiques | Photographie aérienne | Landsat | Autres satellites | Autres détecteurs | | Reproduction photographique | Cartographie | D'origine aérienne | Provenant de détecteurs | Collecte de données pour la défense seulement | Interprétation directe | Traitement automatique des données | Programmes universitaires proposés? | Organismes utilisateurs organisant des cours de formation | Participation à des séminaires/ateliers extérieurs | Agences internationales | Assistance bilatérale | Activités du secteur industriel/privé | Notes |
| Afrique du Sud (République d ) | ● | 3 | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | 6 | ● | ● | ● | C,O | | 8 | ● | ? | 1 | ● | ■ | ■ | ● | |
| Algérie | ● | 3 | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | | ● | ■ | ● | ● | ● | | ● | 7 | | ■ | E | ● | | ● | ● | |
| Angola | ◐ | 4 | | | | ● | | | ● | ● | ● | | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | | ● | |
| Bénin | ● | 4 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | ◉ | | | | ■ | ■ | | | (7) | | ■ | | ● | ● | | ● | |
| Botswana | | J | ● | | ● | | | | ● | ● | ● | | ● | 6 | ● | ● | | | | 7 | | ■ | | ● | ● | ● | | |
| Burundi | ● | 4 | ● | | | | | ■ | ■ | ● | | | | ■ | | ■ | ■ | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Cameroun | ● | 3 | ● | | ● | | ● | | | ● | ● | ● | | ■ | ● | | | | | (7) | | ■ | | ● | | | ● | |
| Centre Afrique (Empire) | ● | 2 | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ■ | ■ | ● | ■ | ■ | ■ | ■ | 7 | ■ | ● | E | ■ | ● | ● | ● | |
| Congo | ● | 4 | ● | | | | | ■ | | ◐ | ■ | | | | ● | ■ | ■ | | | | | ■ | | ■ | | | ● | |
| Côte d'Ivoire | ● | 4 | ● | | ● | | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | ■ | ■ | | | (7) | | ■ | | ● | | | ● | |
| Egypte | | 2 | ● | | ● | | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | C,S | | 8 | ● | ◉ | 1 | ● | ● | ● | | |
| Ethiopie | ● | 4 | ● | | ● | | ● | ■ | ● | ● | ◉ | | | | | | | | | | | ■ | | ● | | | ● | |
| Gabon | ● | 2 | ● | | ● | ● | | | ● | ● | ● | ● | ● | ■ | ● | ■ | ■ | ■ | ■ | (7) | ■ | ■ | E | ■ | | | ● | |
| Gambie | | | | | | | | ■ | ■ | ● | ■ | | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Ghana | ● | 3 | ● | | ● | | ● | | ● | ● | ● | ■ | ● | ■ | ● | ● | | | | 7 | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Guinée | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | | ● | |
| Haute Volta | ● | 2 | ● | | ● | | | | ■ | ● | ◉ | ◉ | ● | ■ | | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Kenya | ● | 3 | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | | | ● | ◐ | ● | C | | 7 | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Lesotho | | 4 | ● | | ● | | ● | | | ● | ● | | | 6 | | | | | | (7) | | ■ | | ● | | ● | | |
| Liberia | | 4 | | | | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | | | | | | | | ■ | | ● | | | | |
| Libye | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | ◉ | ● | | ● | | | | | (7) | | ■ | E | ● | | ■ | ● | |
| Madagasy | ◐ | 3 | ● | | ● | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | ● | ● | ■ | | ■ | | | ■ | | ● | | ● | ● | |
| Malawi | | | | | | | | ■ | ● | ● | ■ | | | ■ | | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mali | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ● | ◉ | ● | ■ | ● | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Maroc | ● | 3 | ● | | ● | ● | | | ● | ● | ◉ | ◉ | | | ● | ● | | | | (7) | | ■ | | ■ | | ● | ● | |
| Mauritanie | ● | 3 | ● | | ● | | | | ■ | ● | ◉ | ◉ | ● | | | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | | ● | |
| Maurice | | | | | | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | ● | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Mozambique | | | | | | | | ■ | | ● | ■ | | | | ● | ● | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Namibie | | | | | | | | ■ | | ● | | | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Niger | ● | 3 | ● | | ● | | | | ■ | ● | ● | | ◉ | ■ | | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | ● | | |
| Nigeria | ● | 3 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | | ● | | ● | ● | | C | | (7) | | ? | E | ● | ● | | | |
| Ouganda | | | ● | | ● | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | | | | | | | | ■ | | ● | | | | |
| Rhodésie | | | | | | | | | | ● | ? | | | | | | | | | | | ? | | ■ | | | | |
| Ruanda | | 4 | | | | | | ■ | ■ | ● | | | | ■ | | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | | ■ | | | | |
| Sénégal | ● | 4 | ● | | ● | | | ■ | ■ | ● | ◉ | ◉ | | | ● | | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | | ● | |
| Sierra Leone | | 4 | ● | | ● | | | ■ | ■ | ● | ■ | | | | | | | | | | | ■ | | ● | | | | |
| Somalie | ● | | | | | | | | | ● | ◉ | | ● | ● | | | | | | 8 | ● | ■ | | ● | | | ● | |
| Soudan | ● | 3 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | | | 6 | ● | ● | | | | (7) | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Swaziland | | | | | | | | | | | ◉ | | | | | ● | | | | (7) | | ■ | | ● | | | | |
| Tanzanie | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | ◉ | | 6 | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Tchad | ● | 2 | ● | | ● | | | | ■ | ● | ◉ | ◉ | ● | ■ | | ■ | ■ | | ■ | | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Togo | | | | | | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | | | | | | | | ■ | | ■ | | | | |
| Tunisie | ● | 3 | ● | | ● | | | | ● | ● | ◉ | | | | ● | ● | | | | (7) | | ■ | | ● | | ● | ● | |
| Zaïre | ● | 1 | ● | ● | ● | ● | | | ● | ● | 5 | 6 | ● | 6 | ● | ● | ● | C | ● | 8 | ● | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Zambie | ● | | | | | | | ■ | ● | ● | ■ | | | | ● | ● | | | | | | ■ | | ■ | | | ● | |

● Oui

■ Non

◉ Proposition

1 Comité ou organisme de coordination national institué pour la télédétection

2 Pas d'organisme coordinateur en place, mais organisme d'animation pouvant être défini

3 Différentes sources officielles

4 Pas d'infrastructure

5 Moyens internes existants ou en cours de développement

6 Moyens extérieurs

7 Visuelle seulement

8 Avec assistance sur machine

C Chambre photographique

S Analyseur à balayage

O Autres (radiomètre, magnétomètre, radar, etc.)

I Indépendants (personnel et compétences internes)

E De l'extérieur

**TABLEAU 6 Activités de télédétection en Afrique**

| ACTIVITES DE TELEDETECTION EN ASIE DU SUD ET L'EST ET AU MOYEN-ORIENT | Source d'information | Participation officielle | | | | | | Programmes/projets de télédétection identifiables | | | | | | | Moyens et personnel disponibles | | | | | | | Enseignement et formation | | | Activités d'organismes extérieurs à l'intérieur du pays | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Infrastructure de télédétection | Intérêt ou participation indentifié | | | | | De base | | Type de données de base | | | | Autres détecteurs | Traitement automatique des données | Moyens de base | | Collecte des données | | | Interprétation des données | | | | | | | | |
| | | | Agences gouvernementales | Défense | Scientifiques individuels | Secteur industriel/privé | Secteur universitaire | Identifiés? | Cartographiques | Photographie aérienne | Landsat | Autres satellites | | | | Reproduction photographique | Cartographie | D origine aérienne | Provenant de détecteurs | Collecte de données pour la défense seulement | Interprétation directe | Traitement automatique des données | Programmes universitaires proposés? | Organismes utilisateurs organisant des cours de formation | Participation à des séminaires/ateliers extérieurs | Agences internationales | Assistance bilatérale | Activités du secteur industriel/privé | Notes |
| Bangladesh | ● | 1 | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | | | 7 | ● | ■ | | ● | ● | ● | ● | |
| Birmanie | | 4 | | | ● | | ■ | ● | ? | ● | | | | | | ? | ? | | | | | ■ | ■ | | ● | ● | ● | | |
| Corée | ● | 3 | ● | | ● | | | ● | ● | ● | ● | | | | | ● | ● | ● | C | | 7 | | ■ | | ● | | ● | | |
| Inde | ● | 1 | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | | | ● | ● | ● | C | | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | |
| Indonésie | ● | 4 | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | ● | | | | | | | ■ | | ● | ● | | ● | |
| Malaysia | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | C | | 8 | | ■ | | ● | | | | |
| Mékong (Region du) | ● | 1 | ● | | | | ● | | ● | ● | ● | | | 5 | | ● | ● | | | | 8 | ● | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Pakistan | ● | 2 | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | | | | | ● | ● | ● | C | | 8 | | ■ | E | ● | ● | ● | | |
| Philippines | ● | 1 | ● | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | | ● | ● | | C | | | | ■ | E | ● | ● | ● | ● | |
| Sri Lanka | ● | 4 | ● | | | | | | ● | ● | ◉ | | | | | ● | ● | ● | C | | 7 | ● | ■ | | ● | | | | |
| Taiwan (Rép de Chine) | ● | 3 | ● | | ● | | | ● | ● | ● | | | | | | ● | ● | ● | | | | | ■ | | ● | | | | |
| Thaïlande | ● | 1 | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | 6 | | ● | ● | ● | C,S | ● | 8 | ● | ● | E | ● | ● | ● | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aden | | 4 | | | | | | ● | ■ | ● | | | | | | ■ | ■ | | | | | | ■ | | | | | | |
| Arabie Séoudite | ● | 3 | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | | | | | ● | ■ | | | | ● | | ■ | | ● | | ● | ● | |
| Irak | ● | 2 | ● | | ● | | | | ● | ● | ● | | | | | ● | ● | ● | | | 7 | | ■ | | | | | ● | |
| Iran | ● | 2 | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | | 8 | ● | ■ | | ● | | | ● | |
| Jordanie | ● | 4 | | | | | | | ● | ● | ● | | | | | ● | ● | | | | | | ■ | | | | | | |
| Koweit | ● | 4 | | | ● | | | ● | ● | ● | | | | 5 | | ● | ■ | | | | ● | 5 | ■ | | ● | | | | |
| Liban | ● | 4 | | | ● | | | | ● | ● | | | | | | ● | ● | ● | | | ● | | ■ | | ● | | | | |
| Moscate | ● | 4 | | | | | | ● | ■ | ● | ● | | | | | ■ | ■ | | | | | | ■ | | | | | ● | |
| Oman | ● | 4 | | | | | | ● | ■ | ● | ● | | | | | ■ | ■ | | | | | | ■ | | | | | ● | |
| Turquie | ● | 3 | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ◉ | | | | | ● | ● | ● | C | ● | 7 | | ■ | | ● | ● | ● | ● | |
| Yemen | ● | 3 | ● | | | | | | ● | ● | ● | | | | | ■ | ■ | | | | | | ■ | | | ● | ● | ● | |

TABLEAU 7 Activités de télédétection en Asie du sud et de l'est et au Moyen-orient

| ACTIVITES DE TELEDETECTION EN AMERIQUE LATINE | Source d'information | Participation officielle | | | | | | Programmes/projets de télédétection identifiables | | | | | | | Moyens et personnel disponibles | | | | | | | Enseignement et formation | | | Activités d'organismes extérieurs à l'intérieur du pays | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Infrastructure de télédétection | Intérêt ou participation indentifié | | | | | De base | | Type de données de base | | | | Traitement automatique des données | Moyens de base | | Collecte des données | | | Interprétation des données | | | | | Agences internationales | Assistance bilatérale | Activités du secteur industriel/privé | Notes |
| | | | Agences gouvernementales | Défense | Scientifiques individuels | Secteur industriel/privé | Secteur universitaire | Identifiés? | Cartographiques | Photographie aérienne | Landsat | Autres satellites | Autres détecteurs | | Reproduction photographique | Cartographie | D'origine aérienne | Provenant de détecteurs | Collecte de données pour la défense seulement | Interprétation directe | Traitement automatique des données | Programmes universitaires proposés? | Organismes utilisateurs organisant des cours de formation | Participation à des séminaires/ateliers extérieurs | | | | |
| Argentine | | 3 | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | 5 | ● | ● | ● | C,S | ■ | 8 | ● | | I,E | ● | | ● | | |
| Bolivie | ● | 1 | ● | ● | ● | ■ | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | C | | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | |
| Brésil | ● | 1 | ● | | ● | ● | ● | ■ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | 8 | ● | ● | I | ● | ● | ● | ● | | |
| Chili | | 1 | ● | ● | ● | ● | ● | ◐ | ● | ● | ◐ | ● | ● | | ● | ● | ● | C | | 7 | | ● | I | ● | | ● | ● | | |
| Colombie | | 3 | ● | ● | | ● | ● | ◐ | ● | ● | ● | | ● | 6 | ● | ● | ● | C,S | ■ | 8 | | ● | E | ◐ | ◐ | ● | ● | | |
| Costa Rica | | 4 | ● | | ● | | | ● | | | | | | | ● | | | | | | | | | ◐ | ◐ | ● | | | |
| Equateur | | | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | C | | 8 | | ■ | | ◐ | ● | ● | | | |
| (El) Salvador | | 2 | ● | | | | | ● | ● | ● | ● | ● | | | ● | ● | ● | C | ■ | 8 | | ■ | | | ● | ● | | | |
| Guatemala | | 2 | ● | ◐ | | | | | ● | ● | ● | | | | ● | ● | ● | C | ■ | 8 | ● | ■ | | ● | | ● | | | |
| Honduras | | 3 | ● | | | | | | | ● | | | | | ● | ● | | | | 7 | | ■ | ■ | ● | | ● | | | |
| Jamaïque | | 3 | ● | | | | ● | | ● | ● | | | | | ● | ● | | | ■ | 7 | | ■ | ■ | ● | | ● | | | |
| Mexique | | 2 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | C,S | ■ | 8 | ● | | I | ● | | ● | ● | | |
| Nicaragua | | 4 | ● | | | | | | | ● | | ● | | | ● | | | | | 7 | | ■ | | ● | ● | | | | |
| Panama | | 2 | ● | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | 6 | ● | ● | | | ■ | | | ● | | ● | ● | ● | ● | | |
| Paraguay | | 4 | ● | ● | | | | | ● | | ● | ● | | | ● | ◐ | | | ● | 7 | | ■ | ■ | | ● | ● | ● | | |
| Pérou | ● | 1 | ● | ● | ● | ■ | ● | | ◉ | ● | ● | ◐ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | | ● | ● | ■ | ■ | ● | | ● | ■ | | |
| Venezuela | | 3 | ● | | ● | ● | | ● | ● | ● | ● | | ● | | ● | ● | ● | C | | 8 | | | | ● | | ● | ● | | |

TABLEAU 8 Activités de télédétection en Amérique latine

● Oui

■ Non

◉ Proposition

1 Comité ou organisme de coordination national institué pour la télédétection

2 Pas d'organisme coordinateur en place, mais organisme d'animation pouvant être défini

3 Différentes sources officielles

4 Pas d'infrastructure

5 Moyens internes existants ou en cours de développement

6 Moyens extérieurs

7 Visuelle seulement

8 Avec assistance sur machine

C Chambre photographique

S Analyseur à balayage

O Autres (radiomètre, magnétomètre, radar, etc.)

I Indépendants (personnel et compétences internes)

E De l'extérieur

Les tableaux 6 à 8 ont été établis à l'aide d'informations fournies par l'Institut de recherches sur l'environnement du Michigan, Ann Arbor Michigan; la *Earth Satellite Corporation*, Bethesda, Maryland; et le Servico géologique des E.-U., Reston, Virginie.

exemple la cartographie des sols, la topographie, la densité démographique et des levés géologiques, peuvent être mises sous forme numérique, transposées à l'échelle appropriée et introduites dans la banque de données afin d'être superposées et comparées avec des données de LANDSAT. Ces procédés de superposition peuvent être utilisés pour établir des cartes de la productivité potentielle des sols, des cartes prospectives de l'occupation des sols, et pour procéder à une large gamme d'études pluridisciplinaires.

Quelques pays déjà avancés sur la voie du développement ont entrepris l'analyse quantitative des données multibandes de LANDSAT, et d'autres s'apprêtent à le faire. Mais, dans la plupart des pays, les besoins en personnel hautement qualifié et le coût du matériel et du logiciel spécialisés risquent de retarder, sinon d'empêcher, l'exécution de projets nationaux faisant appel à ces techniques.

Des pays en voie de développement où n'existent pas les moyens requis ont passé contrat avec des entreprises extérieures pour obtenir les produits souhaités, images à contraste renforcé par exemple, et s'assurer des services comme l'analyse et l'interprétation sur calculateur. Il est donc important de savoir ce qui peut être fait avec le traitement numérique ; même s'il n'est pas en mesure de le faire lui-même, il sera utile pour un pays d'avoir quelques spécialistes familiarisés avec l'analyse numérique et capables de sous-traiter à l'extérieur les services requis et de travailler de façon efficace avec des consultants étrangers.

L'analyse quantitative sur calculateur met l'accent sur la nécessité d'un travail interdisciplinaire. L'analyse de données numériques implique la manipulation statistique de masses de données. Il faudra donc que les spécialistes des ressources naturelles travaillent en liaison étroite avec des spécialistes de la statistique, des mathématiques, et de la programmation sur machine. Une seule scène de LANDSAT contient sous forme numérique des données présentant de l'intérêt pour plusieurs disciplines des ressources naturelles. Il arrive que l'analyse et l'interprétation d'une caractéristique particulière ne puissent être réalisées que par une chaîne de spécialistes dans un certain nombre de disciplines. A titre d'exemple, une analyse de l'occupation des sols comportera le cas échéant : une première étude de la scène par un hydrologue pour établir le plan du bassin versant ; une deuxième étude par un géologue pour identifier les matériaux en surface ; une troisième par un pédologue qui, sur la base des deux travaux précédents, sera en mesure de préparer une carte des sols ; une quatrième par un analyste de la végétation qui, en liaison avec le géologue, l'hydrologue et le pédologue, établira un schéma des ressources végétales ; peut-être une cinquième étude par un spécialiste de l'aménagement qui devra choisir, en collaboration avec ses quatre prédécesseurs, le tracé optimal d'un réseau de transport ou l'emplacement d'une ville nouvelle ; et, en dernier ressort, une sixième étude par un géographe qui, travaillant avec tous les autres, procédera à l'analyse de l'occupation des sols.

## Résoudre les problèmes d'organisation

Plus les utilisateurs de la télédétection sont nombreux et variés, plus il sera rentable pour un pays de mettre sur pied des moyens d'analyse nationaux. Parce que la technologie nécessite un travail interdisciplinaire, et parce qu'il faut tirer le meilleur parti d'une pénurie de personnel et d'installations spécialisés, la télédétection est créatrice de schémas opérationnels et organiques nouveaux pour la gestion des données sur les ressources naturelles. Dès aujourd'hui, on peut déceler, dans une douzaine de pays en voie de développement au moins, l'existence de nouvelles entités chargées de planifier, coordonner et mener à bien les activités de télédétection selon des modalités variables. Les différences qui existent en termes de structures, de responsabilités, de programmes et de services sont le reflet de la recherche générale d'une méthode adaptée aux objectifs à long terme de chaque pays. Les démarches politiques et les calendriers adoptés par un certain nombre de pays, parmi les plus entreprenants, illustrent cette diversité.

### Entités créées au sein d'un ministère ou d'une agence

Il est fréquent que l'initiative d'adopter le principe de la télédétection et de concevoir un programme pour son utilisation provienne d'un ministère ou d'un département technique responsable d'un secteur comme l'agriculture, l'hydrologie, la géologie, etc. Le ministère ou le département en cause peut affecter ses nouveaux moyens à la poursuite exclusive de sa propre mission ou se doter d'une fonction de coordination pour amener d'autres entités à utiliser cette technologie. Dans certains pays, les études de télédétection sont menées séparément dans un certain nombre de ministères et d'institutions.

En *Argentine*, la mission essentielle de la première enquête sur les LANDSAT, menée sous les auspices de l'Agence spatiale nationale, a été d'expérimenter dans quelle mesure la télédétection peut déterminer la superficie et l'état des cultures, notamment du blé. Le Ministère de l'agriculture et de l'élevage a établi un programme de télédétection en association avec un centre de traitement des données capable de procéder à des opérations de traitement directes et sur calculateur. Les plans figurant au programme comportent des travaux sur la gestion des terrains de parcours, le recensement des terres agricoles, et la cartographie des réseaux hydrauliques. Une autre partie de l'étude LANDSAT porte sur des levés géologiques et miniers. Les départements d'agriculture, sylviculture et géologie de l'université de Buenos Aires procèdent à des études sur l'interprétation directe des images de LANDSAT.

### Institutions centrales existantes

Dans certains pays, l'exploitation de la télédétection a pris racine dans diverses institutions spécialisées et organisations gouvernementales : agences

spatiales, grandes écoles scientifiques, instituts de recherche ou universités, qui ont été les premières à manifester de l'intérêt pour cette discipline. Un comité consultatif ou de coordination, représentant les intérêts des utilisateurs, assure parfois la liaison entre les destinataires ultimes des données dans les départements responsables des ressources et autres services.

Au *Brésil*, le programme de haute technologie, bien outillé, est l'affaire de l'Institut national de la recherche spatiale (INPE). Celui-ci exploite une station au sol qui enregistre quotidiennement plus de 350 images de LANDSAT, fournit des données sur l'agriculture et la sylviculture au Ministère de l'agriculture, sur la géologie au Ministère des mines et de l'énergie, et, sur une large gamme de sujets, au Ministère de l'intérieur, qui contribuent tous au budget de l'Institut au titre de ces services. Parmi ses autres clients, figurent désormais des entreprises privées et des pays voisins. L'Institut est en liaison avec des établissements d'enseignement et organise ses propres séminaires, ateliers et cours sur la télédétection.

En *Egypte*, le programme de télédétection est l'affaire de l'Académie de la recherche scientifique et de la technologie, au Caire. Les trois groupes de recherche : géologie, agriculture et physique, ont des liens avec les ministères de l'agriculture, de l'irrigation, du pétrole, de l'industrie et de la reconstruction, ainsi qu'avec des organismes qui s'occupent de l'environnement, de l'espace extra-atmosphérique, de l'énergie et de la topographie. Les images de LANDSAT ont servi à établir des cartes géologiques, de l'occupation des sols, pour l'irrigation et pour l'identification des structures du terrain ; dans le cadre d'études des eaux souterraines, des sols, du pétrole et des minerais ainsi que de programmes de génie civil ; et à diverses applications intéressant les deux rives du Nil, la région du barrage d'Assouan, le schéma directeur d'Ismaïlia, le creusement d'un tunnel sous le canal de Suez, et le Désert occidental, ce dernier projet ayant mené à la découverte d'importants gisements de gypse et de la présence de minerai de fer.

En *Indonésie*, les activités de télédétection sont centrées sur trois organismes publics : l'Institut national de l'aéronautique et de l'espace se procure aux Etats-Unis des produits de LANDSAT et les diffuse à d'autres organismes centraux. L'Institut national de cartographie met en place des moyens pour établir des cartes photographiques au 1 : 250 000 à l'aide d'images de LANDSAT. Cet Institut aide des services ministériels à préparer des cartes thématiques, assure des services de formation à l'interprétation visuelle et travaille avec d'autres agences à réunir des données de "vérité terrain". L'Institut scientifique indonésien prépare un programme d'activités de formation en coopération avec une quarantaine d'organisations publiques et privées. On travaille à intégrer les données de LANDSAT à l'inventaire national des cultures et ressources naturelles, qui est en cours. Le Service des mines a découvert dans les données de LANDSAT des caractéristiques géomorphiques qui n'avaient pas été décelées jusque là et le Service géologique utilise les images de LANDSAT pour ses travaux de cartographie.

Plus modestes, les activités de détection du *Pakistan* relèvent également de son agence spatiale. Les produits de données sont proposés à d'autres organismes intéressés. L'accent a été mis sur des études des problèmes de

sédimentation et de formation du littoral dans le delta de l'Indus, sur la cartographie du littoral et sur le recensement des eaux de surface. Des études complémentaires en chantier ou en projet devraient contribuer au développement de la région du delta, à l'évaluation de l'état des cultures, à la détermination de la salinité et à la diagraphie des eaux, ainsi qu'à l'étude des ressources en neige et en eau. Une nouvelle carte géologique a été préparée sur la base des données de LANDSAT.

Au *Pérou*, les activités de télédétection relèvent collectivement de la responsabilité de l'Office national pour l'évaluation des ressources naturelles (ONERN), établi de longue date, et de l'Institut de géophysique. Les images de LANDSAT ont fourni une contribution à la classification et à la cartographie des forêts amazoniennes. La télédétection est particulièrement intéressante du fait que de grandes régions du pays sont inaccessibles. Avec une assistance canadienne, le Pérou a entrepris une étude détaillée des ressources régionales à l'aide des données fournies par LANDSAT et par avion. Des données similaires serviront à un inventaire expérimental des récoltes qui sera réalisé avec la coopération du Ministère de l'alimentation.

En *Tanzanie*, les travaux de télédétection sont basés principalement au Bureau des ressources et de l'aménagement du territoire (BRALUP) de l'université de Dar es Salam. Combinées aux données provenant d'autres sources, les données de LANDSAT aident les chercheurs du BRALUP et des consultants étrangers à établir des cartes de l'hydrologie et des sols de la région d'Arusha.

En *Thaïlande*, le Conseil national de la recherche centralise, par l'intermédiaire d'un Comité national de coordination, les activités de télédétection. Le comité est constitué d'administrateurs, de chercheurs et de représentants des ministères et organismes qui utilisent les données de télédétection, dans certains cas à un niveau quasi opérationnel. Un inventaire des forêts tiré des données de LANDSAT a déjà eu de l'influence sur les décisions de politique nationale ; une nouvelle carte des structures géologiques, fondée sur les données de satellites, est en cours d'achèvement : elle jouera un rôle important dans la prospection pétrolière et minière. La Thaïlande est le seul pays ayant un conseiller résident en télédétection délégué par l'AID ; ce pays se prépare activement à une utilisation étendue de la télédétection.

### Comités de coordination

Dans certains pays, la responsabilité de la télédétection a été confiée à l'échelon national à un comité de coordination, généralement chargé de recueillir dans un premier temps suffisamment de connaissances et d'expérience en vue de la création d'un programme national de télédétection.

Aux *Philippines*, le Comité national d'études et de prospection minières, organisme existant, a constitué un groupe de coordination pour la télédétection qui réunit des représentants des différents bureaux des Ministères de l'agriculture et des ressources naturelles, des services d'études côtières et géodésiques, de l'armée de l'air et de l'université des Philippines.

L'étude prospective de LANDSAT a porté sur les eaux de surface, l'occupation des sols, la cartographie et la géologie. On attend des images de LANDSAT qu'elles jouent un rôle important dans la prospection minière et l'étude géologique des régions isolées. Le comité a en préparation l'évaluation complète de l'ensemble des ressources d'une des principales îles de l'archipel au moyen de données de LANDSAT et d'autres sources.

### Organismes nouveaux

Quelques pays ont créé des organismes nouveaux pour servir d'animateurs à un programme national de télédétection et de centres de distribution, fournisseurs de produits et services dans ce domaine aux utilisateurs publics et privés.

Le programme *ERTS*-Bolivie, rameau du service géologique bolivien, a été doté d'un statut particulier d'unité centrale interdisciplinaire par décret présidentiel de 1973. Son financement est assuré par ses différentes prestations de services. Son conseil consultatif représente les différents ministères intéressés, services publics compétents et universités. Les membres de son personnel technique, détachés de divers organismes spécialisés, assurent la liaison avec la communauté des utilisateurs. Les images de LANDSAT ont été utilisées conjointement avec des vues aériennes pour établir la première carte physique de la Bolivie. Elles ont également servi à des études de géologie, d'hydrologie, de pédologie et de volcanisme. Il est prévu de dresser un inventaire des ressources naturelles pour l'ensemble du pays. Les images de LANDSAT ont déjà contribué à découvrir un gisement de fer prometteur. On commence à travailler à l'analyse numérique des données de LANDSAT.

En *Inde*, l'Agence nationale de télédétection qui a été établie à Hyderabad au début de 1975 dépend du Ministère de la science et de la technologie. Elle a pour objectifs d'orienter la recherche en matière de télédétection, de fournir ses services aux départements utilisateurs, d'effectuer des enquêtes sur les ressources naturelles, de gérer des banques de données, d'organiser des programmes de formation et de publier les résultats des recherches en télédétection par satellites, avions et ballons. Les prestations de service sont destinées principalement à l'agriculture, la sylviculture, l'hydrologie, la géologie, la cartographie et l'occupation des sols. L'Agence spatiale indienne se propose de mettre sur orbite en 1978 un satellite d'observation de la Terre équipé d'un détecteur RBV.

## Impératifs fonctionnels de services de télédétection

Pour bien des raisons, il ne semble pas qu'une formule unique se soit imposée à ce jour pour l'organisation et l'exploitation des activités de télédétection dans un cadre national. Les besoins en matière d'informations sur

les ressources et de surveillance de l'environnement varient largement d'un pays à l'autre. Ce qui est techniquement souhaitable n'est pas obligatoirement faisable politiquement. Un type de structure ou un mode d'exploitation qui fonctionne bien dans un pays ou un secteur donné peut donner de mauvais résultats dans un autre.

Malgré les différences entre les nations en matière de besoins d'informations et d'impératifs politiques et administratifs, l'expérience tend à montrer que certaines caractéristiques fonctionnelles et certains principes d'exploitation méritent considération lorsqu'un pays se propose d'entreprendre un programme de télédétection. (La mention de "centre" dans les alinéas qui suivent n'implique pas la nécessité de regrouper dans des entités uniques les programmes nationaux.)

- *Concentration de compétences scientifiques* : Le centre de télédétection doit avoir une masse critique de compétences scientifiques et de personnel qualifié, versé dans les aspects techniques de la technologie et de la télédétection, avec un noyau stable de personnel compétent qui confère au centre la continuité et la capacité de croissance nécessaires pour faire face aux besoins de la communauté des utilisateurs.
- *Interaction de spécialistes appartenant à des disciplines variées* : Les moissons les plus riches en données de télédétection proviennent généralement de l'analyse et de l'interprétation des éléments de base par des experts dans plusieurs disciplines des ressources naturelles. L'analyse numérique nécessite de surcroît l'apport de spécialistes en informatique, mathématiques et statistiques.
- *Liaisons solides avec les organismes utilisateurs* : Le centre doit forger et entretenir d'étroites relations de réciprocité avec les organismes utilisateurs. L'interaction centre-utilisateurs doit porter principalement sur le niveau du débit des données, les formes de données souhaitables, l'importance et les priorités à attribuer aux types de données collectées. Le détachement de personnel des utilisateurs auprès du centre peut être un stimulant efficace à cette interaction.
- *Etudes de vérité terrain* : Le centre doit disposer de moyens en personnel, instruments de mesure, avions et véhicules pour procéder à des études de vérité terrain : élément essentiel de l'analyse des données de télédétection. Les travaux de vérité terrain fournissent une occasion précieuse de consolider les liaisons entre centre et utilisateurs en constituant des équipes mixtes.
- *Attitude axée sur le "service"* : Le centre doit être avant tout un organisme de service à l'intention d'une large gamme d'utilisateurs publics et privés. Mais, pour conserver sa vitalité intellectuelle et pour être en mesure de fournir à la communauté des utilisateurs un personnel hautement qualifié, le centre a également un rôle éducatif et informatif important à jouer, et il ne

doit pas négliger les recherches tendant à élargir le champ d'application des données de télédétection.

• *Capacité de traiter d'autres systèmes de données* : Le centre doit être capable de traiter des données et informations provenant d'une variété de sources : avions, plates-formes au sol, stations météorologiques, etc.

• *Fonction d'archivage* : Le centre devra assurer une importante fonction de stockage et de ressaisie des données en assurant dans des conditions appropriées l'accès aux matériaux de télédétection et aux données corrélatives se rapportant au pays ou à la région en cause. Il doit être également le principal dépositaire de la documentation technique ayant trait à la télédétection.

• *Analyse "panoramique"* : Lorsqu'ils ont pour fonction essentielle d'analyser les données d'un secteur déterminé et de prendre des décisions à son sujet, les organismes utilisateurs de données sur les ressources naturelles n'ont pas pour habitude d'étudier les situations avec beaucoup de recul en couvrant de multiples disciplines. Par contre, le centre de télédétection qui surveille les variables-clés de l'environnement est bien adapté pour acquérir avec le temps la capacité d'établir des panoramas au niveau national ou régional.

Il convient toutefois de souligner que l'accès à une technologie capable d'élargir et d'accélérer dans de fortes proportions l'acquisition des données sur les ressources, et la possession d'un appareil national capable de les transformer en produits utiles, peuvent être sans suites faute de structures institutionnelles de décision et d'exécution qui leur soient adaptées. Plus la collecte de données gagne en étendue et en rapidité, surtout en ce qui concerne les conditions mouvantes de l'environnement, plus sera rapide le temps de réponse exigé des utilisateurs pour que les données recueillies conservent leur valeur. Dans un premier temps, les données doivent être ajustées en format et en teneur aux besoins opérationnels de l'utilisateur pour être efficaces ; mais ces derniers doivent à leur tour s'adapter à la possibilité de prendre à un moment plus favorable les décisions présumées meilleures que leur offre la nouvelle technologie. Il faut donc que s'établisse et se maintienne entre producteur et utilisateur de données un processus d'interaction qui garantisse non seulement que le produit continue à satisfaire aux besoins immédiats de l'utilisateur, mais aussi que la perception par ce dernier de ses "besoins" et sa faculté d'agir aillent de pair avec la croissance des possibilités que lui offre ce produit.

Menée à bien, cette interaction peut entraîner à long terme des modifications notables dans la façon dont un pays organise son système de collecte et d'analyse des données sur les ressources et dans la façon dont il gère ses ressources.

## Faire face aux besoins en main-d'œuvre

A l'heure actuelle, la pénurie de main-d'œuvre qualifiée est le principal facteur qui limite la capacité d'un pays en voie de développement à faire sienne la technologie de la télédéctection. Les besoins auxquels les pays doivent généralement faire face en matière d'enseignement couvrent un spectre étendu : ils vont d'une présentation succincte, mais dense, des aspects pratiques et politiques de cette technologie à des hauts fonctionnaires, à la formation en profondeur de techniciens et scientifiques qui constitueront un maillon important dans la chaîne d'activités qui s'étend du traitement initial des données à leur utilisation finale.

Pour opérer dans ce domaine un transfert de technologie efficace aux pays en voie de développement, il faut mettre à leur disposition un choix de possibilités éducatives. Certaines existeront déjà dans l'un ou l'autre de ces pays ; d'autres ne sont actuellement disponibles que dans un petit nombre d'institutions spécialisées dans le monde.

Les programmes éducatifs sur la technologie de la télédétection peuvent se diviser en deux grandes catégories : l'information générale et la formation en profondeur.

### Information générale

Dans cette catégorie, les objectifs de l'enseignement sont en général à court terme ; ils visent à inculquer une connaissance de base de la technologie et de ses applications, et à mettre au courant des derniers développements des praticiens expérimentés dans d'autres techniques de détection et de collecte des données. A ce niveau, les activités peuvent être organisées pour des groupes spécifiques (personnels administratifs, techniciens, chercheurs) et prendre la forme de séminaires, ateliers, conférences, cours accélérés, ou programmes de voyages ou d'étude. Ils peuvent avoir lieu dans n'importe quel point du monde ; au cours des deux ou trois dernières années, des activités de ce genre ont eu lieu notamment en Allemagne de l'Ouest, au Brésil, au Canada, en Egypte, au Ghana, en Indonésie, au Mali, au Royaume-Uni, en Thaïlande, sans oublier les Etats-Unis.

Il est un groupe important et souvent négligé que ces activités initiales devraient toucher : les dirigeants nationaux dans le domaine de la politique, de la gestion et de la planification. Les programmes de présentation et d'information qui constituent le gros de l'effort accompli jusqu'à présent ont été axés sur les personnels scientifiques et techniques et n'ont généralement pas atteint les niveaux de décision dans les pays en voie de développement. Il importe que les personnes qui détiennent les hautes responsabilités en politique, en planification et en gestion des ressources aient une connaissance

solide de la technique de la télédétection, de son utilité et de ses limites pour qu'un pays puisse entreprendre de façon saine et ordonnée l'insertion de cette technologie.

### Formation en profondeur

La formation en profondeur doit avoir pour objet de donner aux chercheurs, ingénieurs et techniciens l'essentiel des bases scientifiques et techniques et des compétences nécessaires pour traiter, analyser, interpréter et utiliser les données de télédétection avec les méthodes visuelles ou à l'aide des procédés sur calculateur. Le niveau minimal d'instruction pour former un technicien en télédétection est celui de l'enseignement secondaire ou un diplôme équivalent. Pour les personnes destinées à prendre des initiatives sur le terrain, une formation scientifique de niveau universitaire dans une discipline liée aux ressources naturelles, à leurs utilisations, ou dans le domaine des mathématiques et des statistiques, est souhaitable. L'enseignement peut être prodigué sous forme de programmes accélérés (3 à 12 mois), non sanctionnés par un diplôme universitaire, ou de programmes de niveau universitaire de plus longue durée (1 à 4 ans). Dans les pays en voie de développement, nombre de scientifiques et techniciens ont reçu une formation et ont de l'expérience dans certains secteurs classiques de la télédétection, en particulier la photo-interprétation aérienne. Mais ceux qui ont l'expérience de l'analyse quantitative et de l'interprétation des données multibandes sont très peu nombreux. Les chercheurs et gestionnaires dans le domaine des ressources peuvent en particulier tirer un grand profit de programmes accélérés sur l'interprétation visuelle des images de satellites et des photographies aériennes. Agronomes, hydrologues, sylviculteurs, géologues, cartographes et experts de l'occupation des sols pourront notamment tirer parti d'une initiation à l'utilisation de ce nouvel outil pour l'appliquer à leurs différentes spécialités, et en particulier pour établir une collaboration fructueuse avec les analystes et techniciens de la télédétection.

Pour l'interprétation visuelle, il existe de nombreux organismes en Amérique du Nord et en Europe, et quelques-uns en Asie, en Afrique, en Amérique latine et en Australie, qui proposent un grand choix de programmes. L'Institut international d'observation aérienne et des sciences de la Terre (ITC), aux Pays-Bas, et les centres similaires qu'il a contribué à établir en Colombie, en Inde et en Indonésie, sont particulièrement actifs dans ce type de formation. Au Brésil, l'Institut national de la recherche spatiale (INPE) reçoit des étudiants venant d'Amérique latine et d'autres régions en voie de développement, qui viennent suivre une formation en matière de télédétection. Le Service géodésique inter-américain de Panama organise des cours de photo-interprétation pour les pays de l'Amérique latine.

Parce que l'analyse quantitative sur calculateur nécessite une étroite collaboration interactive entre spécialistes des ressources, de l'informatique et de la statistique, une formation non sanctionnée par un diplôme universitaire est souvent particulièrement efficace dans ce domaine lorsqu'elle s'adresse à une assistance multidisciplinaire. Mais les possibilités de formation sur calculateur restent limitées à un nombre relativement restreint d'organismes nord-américains tels que le centre de données EROS (USGS) ; l'Institut de recherches sur l'environnement du Michigan ; l'Université de Californie à Berkeley ; l'Université de l'Etat du Colorado ; l'Université du Kansas ; l'Université du Michigan, le Laboratoire d'application de la télédétection de l'Université Purdue ; et le Centre de télédétection de l'université A & M du Texas. Un petit nombre de sociétés privées ont également des programmes de formation.

Les pays en voie de développement qui décident de mettre en route un programme complet d'application de la télédétection, comportant notamment l'utilisation d'un grand nombre de données multibandes fournies par satellite ou par avion, doivent impérativement consentir un effort de formation en profondeur.

Une formation universitaire est indispensable pour le développement d'un tel programme. Une formation approfondie et la maturité du jugement acquièrent une importance croissante à mesure que l'utilisation des techniques de télédétection passe des stades élémentaires de l'inventaire des ressources et de la cartographie à grande échelle à leur utilisation par des organismes nationaux et semi-publics pour préparer des décisions. Il faut avoir sous la main pour la direction technique et la gestion de tels programmes des scientifiques, des ingénieurs et des chefs responsables ayant reçu une formation spécialisée au niveau universitaire. A ce stade, les organismes responsables des ressources comprendront également qu'il est de leur intérêt de compter dans leur personnel un certain nombre de spécialistes nantis de diplômes de haut niveau dans les disciplines de la télédétection.

De nombreuses universités en Amérique du Nord, plusieurs universités européennes et quelques-unes dans d'autres parties du monde délivrent des diplômes supérieurs dont le programme de recherche comporte éventuellement un enseignement théorique et pratique de l'interprétation visuelle des images de télédétection. Un petit nombre d'universités aux Etats-Unis organisent des programmes de licence et de doctorat sur différents aspects de la télédétection quantitative.

Les progrès qu'enregistrent continuellement les techniques et instruments de traitement et d'analyse des données imposent aux praticiens de se tenir constamment à jour. Diverses associations professionnelles, institutions académiques et agences d'assistance technique organisent à cette fin des ateliers, séminaires, et missions d'étude dans différents pays du monde ; ces activités

donnent également l'occasion aux spécialistes de différents pays d'échanger idées et expérience.

### Ampleur des besoins de formation

Le comité a jugé utile de préparer, à l'intention des programmes d'aide bilatérale et multilatérale et des agences d'assistance technique, une estimation globale de la main-d'œuvre qualifiée dont les pays en voie de développement auront vraisemblablement besoin au cours de la prochaine décennie. Cette estimation a été établie en postulant les besoins, classés par discipline ou spécialisation, d'un pays en voie de développement hypothétique d'importance moyenne (Tableau 9).

En tenant compte du fait que les pays varient par la superficie, le niveau de développement et le type de ressources de base, l'estimation grossière des besoins globaux en formation d'une centaine de pays en voie de développement au cours des dix prochaines années donnerait donc les chiffres suivants : *formation non sanctionnée par un diplôme universitaire (3-12 mois)* de 18 000 à 24 000 personnes pour l'interprétation visuelle et de 9 à 15 000 personnes pour l'analyse quantitative sur calculateur ; *formation sanctionnée par un diplôme universitaire (1-4 ans)* de 2000 à 5000 personnes pour l'interprétation visuelle et de 1000 à 4000 personnes pour l'analyse quantitative.

TABLEAU 9 Besoins en personnel qualifié d'un pays en voie de développement hypothétique

| | *Nombre de personnes formées par an* | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *Analyse visuelle* | | *Méthodes quantitatives* | |
| *Discipline/ Spécialisation* | *Sans* diplôme* | *Avec† universitaire* | *Sans* diplôme* | *Avec† universitaire* |
| Agriculture | 4-5 | ½-1 | 2-3 | ½-1 |
| Sylviculture | 1-2 | 0-½ | 1-2 | 0-½ |
| Géologie, minerais | 3-4 | ½-1 | 1-2 | 0-½ |
| Hydrologie | 2-3 | 0-½ | 1-2 | 0-½ |
| Occupation des sols | 4-5 | ½-1 | 2-3 | ½-1 |
| Topo-cartographie | 4-5 | ½-1 | 2-3 | 0-½ |
| Total par an | 18-24 | 2-5 | 9-15 | 1-4 |
| Total sur 10 ans | 180-240 | 20-50 | 90-150 | 10-40 |

*La formation sans diplôme universitaire nécessite un enseignement supplémentaire ou spécialisé sur les applications de techniques spécifiques de la télédétection ; en général, la durée de formation va de 3 à 12 mois.

†Formation universitaire comportant des cours et des travaux de recherche où figurent un enseignement approfondi et l'expérience des applications de la télédétection ; 1 à 4 ans.

Vu le rythme du développement technologique de la télédétection et l'intérêt croissant que manifestent les pays en voie de développement, l'estimation se fonde sur l'hypothèse que, vers 1985, la plupart de ces pays auront acquis au moins des moyens de base pour faire face à leurs besoins nationaux, et feront appel à leur propre main-d'œuvre et au personnel de services extérieurs, régionaux ou autres, qui seront éventuellement disponibles. Il n'est pas inutile de souligner que la vaste majorité des candidats présumés de cette formation ne seront pas écartés de leurs activités professionnelles, mais acquerront des compétences supplémentaires qu'ils pourront appliquer aux domaines qu'ils auront choisis. En fait, cette formation supplémentaire pourra être acquise dans la plupart des cas au cours de la scolarité traditionnelle, technique ou professionnelle, à mesure que les programmes d'enseignement sur les disciplines ayant trait aux ressources feront une place à la télédétection, comme ce fut le cas précédemment lors de l'apparition de l'informatique.

Il convient également de remarquer que, pour l'étude et la surveillance des ressources naturelles, certains pays s'en remettront principalement à l'analyse visuelle tandis que d'autres feront appel aux techniques quantitatives sur calculateur. Leur choix sera gouverné par leurs objectifs et par les ressources humaines et matérielles dont ils disposent. Beaucoup de pays seront capables d'accomplir de grandes réalisations, ainsi que l'expérience l'a montré, même avec un petit nombre de personnes compétentes.

Il n'en est pas moins vrai que les chiffres mentionnés plus haut représentent un effort considérable pour les moyens de formation aux techniques de télédétection qui existent dans le monde. A l'heure actuelle, leur capacité est insuffisante et risque d'être encore moins adaptée à l'avenir si la demande de formation dans cette discipline augmente notablement au cours des prochaines années dans les pays industrialisés, ce qui est fort probable. Les orientations universitaires et les moyens d'enseignement devront donc être ajustés et étendus au cours des années qui viennent, dans les pays industrialisés comme dans les pays en voie de développement. Les agences d'assistance bilatérale et multilatérale auront un rôle utile à jouer dans ce domaine, et il serait de leur intérêt commun d'agir de concert.

## Possibilités actuelles d'assistance extérieure

Les pays ayant besoin de conseils et d'assistance à court terme au sujet de la télédétection—qu'il s'agisse du traitement, de l'analyse et de l'interprétation des images, ou de la mise en place d'un programme national—peuvent s'adresser à un nombre encore restreint, mais croissant, de spécialistes qui sont prêts à fournir leur concours. La plupart de ces spécialistes travaillent par le biais de bureaux d'étude commerciaux ou sans but lucratif, jusqu'à présent

surtout américains, qui réunissent un large éventail de compétences et sont à même de fournir toute une gamme de services. Nombre de ces entreprises commerciales se sont fait une importante clientèle internationale, et l'on peut rencontrer leurs représentants dans toutes les parties du monde. Des spécialistes universitaires associés à un certain nombre de centres de recherche universitaires sur la télédétection proposent également leurs services de conseils, soit à titre personnel soit de façon officielle. Pour les applications ayant trait à la géologie et à la cartographie, le Service géologique des Etats-Unis entretient des relations étendues avec des organismes homologues de pays en voie de développement et leur fournit une assistance, financée directement par les pays en cause ou par l'intermédiaire de l'Agence pour le développement international (AID).

L'existence d'experts consultants disponibles, pouvant être recrutés d'une façon ou d'une autre, devrait contribuer dans une certaine mesure à permettre aux pays qui ne disposent pas encore de moyens de télédétection de faire face à leurs besoins immédiats, comme par exemple lorsqu'il s'agit de traiter avec des entreprises étrangères mieux informées qui négocient l'accès à leurs ressources naturelles. La diffusion prévisible de ce genre de services d'experts dans le monde en voie de développement : par exemple, l'établissement dans certains endroits d'entreprises locales ou, plus probablement, de centres de services régionaux à financement multinational, devrait contribuer à réduire encore les inconvénients des déséquilibres en matière de compétence technique qui ne manqueront pas d'exister, notamment pour les pays qui ne seront pas à même pendant quelques années d'édifier pour leur propre compte un système de télédétection important.

Les organisations bilatérales et multilatérales qui fournissent une aide au développement technique et économique constituent bien entendu un autre grand moyen d'assistance. A titre d'exemple, la Banque mondiale fait de plus en plus appel à la télédétection pour la planification et la supervision des programmes de développement qu'elle finance, et a par ce biais introduit cette technologie dans une large gamme d'applications auprès d'un nombre croissant de pays en voie de développement. Le Programme de développement des Nations Unies, la FAO, l'Organisation météorologique mondiale, l'UNESCO, la division des affaires internationales du Secrétariat de l'ONU et plusieurs autres agences de l'ONU s'occupent sous diverses formes du financement de programmes, de services techniques ou d'activités d'information qui ont tous pour objet le transfert de technologie vers les pays en voie de développement.

En plus de l'Agence pour le développement international des Etats-Unis, des agences d'assistance au développement canadienne, française, néerlandaise et ouest-allemande proposent notamment aux pays en voie de développement diverses formes d'aide se rapportant à la télédétection. Mais ces activités ont été menées pour la plupart à une échelle modeste, en partie à cause de la

pénurie actuelle de personnel qualifié dans ce domaine en dehors de l'Amérique du Nord.

## Faire face aux besoins en matériel

L'une des principales qualités de la télédétection est que l'utilisation de ses produits est désormais accessible, à un certain degré, à pratiquement tous les pays en voie de développement. Le choix des produits de données : tirages sur papier, films et bandes magnétiques, laisse toute latitude pour les procédés d'extraction de l'information, du plus simple au plus complexe, tandis que les besoins en matériel peuvent être adaptés en conséquence. L'urgence, le détail et la précision des données extraites ne sont pas les mêmes dans tous les procédés, mais même au barreau le plus bas de l'échelle des options techniques (photo-interprétation de tirages sur papier), ils suffisent pour fournir un inventaire des ressources naturelles, entre autres informations qui peuvent être d'un grand prix pour un pays en voie de développement.

L'importance des investissements en matériel qu'un pays doit envisager est en relation directe avec le degré de souplesse technique et d'autonomie qu'il souhaite acquérir à plus ou moins court terme*. Ces objectifs, qui seront fonction à la fois de ses ressources humaines et financières et de ses besoins en matière de collecte des données, peuvent être atteints progressivement par adjonctions modulaires à une dotation initiale. Les éléments constitutifs du secteur sol n'ont pas obligatoirement tous une urgence égale dans tous les pays, même sous l'angle d'une acquisition ultérieure. Rappelons que le secteur sol d'un système de télédétection se compose de quatre sous-systèmes : réception (antenne et récepteurs) ; traitement des données (matériel pour la correction, la mise au format et l'enregistrement des données sous une forme diffusable) ; gestion des données (installations pour stocker, cataloguer, reproduire et diffuser les données) ; et analyse des données (matériel servant à extraire des données les informations sous une forme utile pour l'utilisateur final).

C'est le sous-système d'analyse des données qui présente en général le plus d'urgence pour les pays en voie de développement et pour lequel ils souhaiteront sans doute parvenir rapidement à l'autonomie. L'interprétation de produits photographiques fournis par un centre de diffusion existant constitue la première étape, la plus facile et la moins coûteuse. Certains pays disposant d'installations de calcul appropriées peuvent être en mesure de

*Pour une description objective et détaillée de la structure et de l'exploitation d'installations au sol, avec les options en matériel et leur coût, le lecteur se référera au rapport de la Fédération astronautique internationale, *Ground Systems for Receiving, Analyzing, and Disseminating Earth Resources Satellite Data*[1].

commencer à utiliser des données fournies dans les mêmes conditions sous forme de bandes compatibles avec un traitement sur calculateur (CCT).

Le sous-système de gestion des données peut être mis en chantier en partie au niveau national du fait que, lorsqu'un pays augmente ses activités dans le domaine de la télédétection, le stockage, le classement et autres procédures de gestion des données d'origine spatiale et autre seront nécessaires au niveau local ; mais la gestion des données spatiales devra également être entreprise au niveau régional au moyen d'installations desservant un certain nombre de pays.

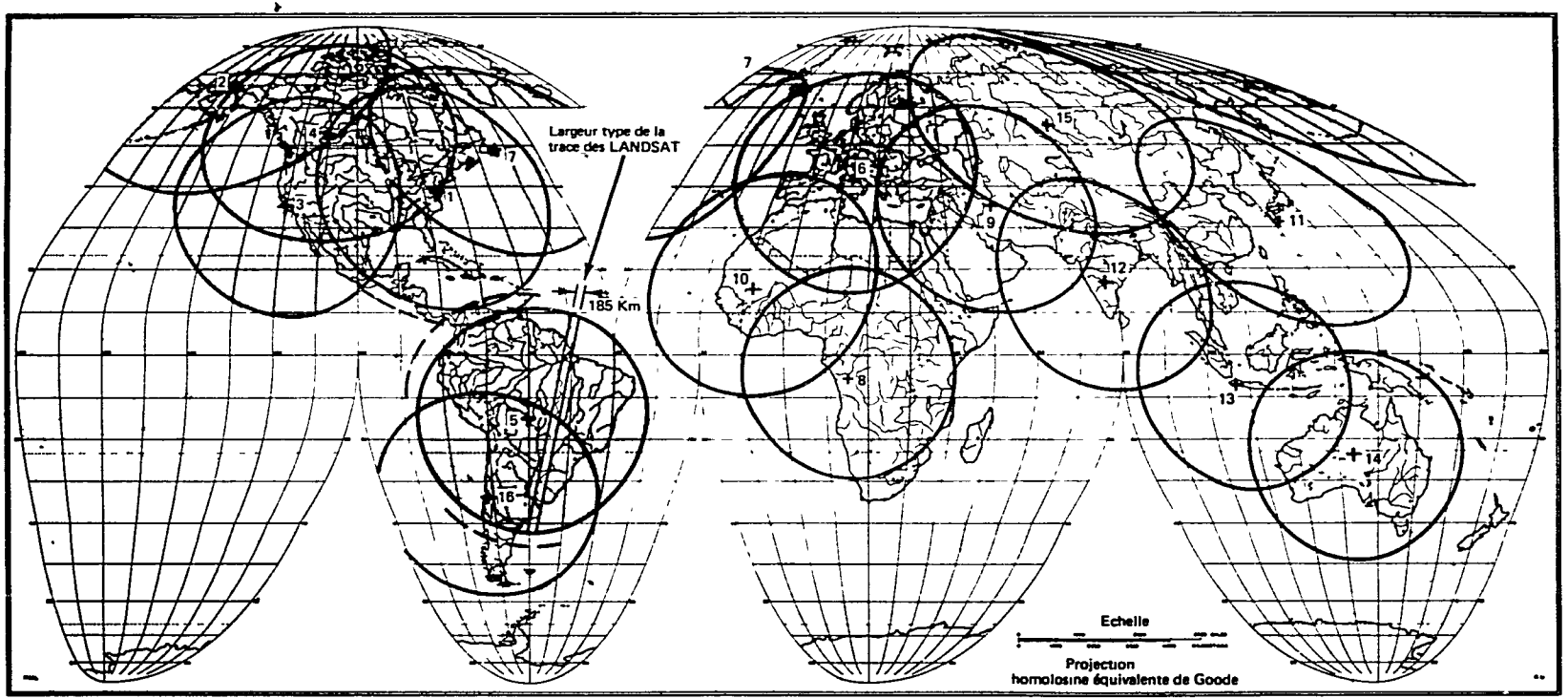
Pour la grande majorité des pays, les sous-systèmes de réception et de traitement des données ne constituent pas une question de choix national ou d'investissement unilatéral. Pour la couverture directe de la Terre avec la génération actuelle de détecteurs de LANDSAT, il suffira de moins d'une douzaine de stations de réception, accompagnées des installations de traitement nécessaires ; la plupart de ces stations pourraient être établies avec un statut explicite de service régional et gérées en coopération multilatérale. (On trouvera à la figure 10 un schéma d'implantation possible des stations de réception).

## Centres de service régionaux

Les principaux inconvénients du recours à des installations à distance pour la réception et le traitement des données sont l'incertitude quant à la disponibilité des données et les délais d'obtention des données disponibles. Dans l'hypothèse d'une répartition mondiale des installations de réception-traitement-diffusion, du perfectionnement du matériel de traitement, et de l'éventuelle utilisation de satellites de télécommunications pour la retransmission des données, ces délais devraient diminuer à l'avenir dans de fortes proportions.

Les 7 stations de réception actuellement (1977) en exploitation aux Etats-Unis, au Canada, au Brésil et en Italie assurent une couverture directe de l'essentiel du continent américain, de l'Europe, de l'Afrique du Nord et d'une partie du proche Orient.

Des stations supplémentaires en sont à différents stades de développement. Une station est en construction en Iran, et le Canada s'apprête à inaugurer une deuxième installation afin de dompléter sa couverture nationale. Le Zaïre et le Chili ont conclu des accords avec la NASA et les études pour la construction de stations sont en chantier. L'Argentine, l'Australie, l'Inde, le Japon, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, la Suède et la Haute Volta (ce dernier pays pour le compte d'un groupe d'Etats africains) ont fait part d'un intérêt certain pour l'établissement de stations. Si tous ces projets se concrétisent, il sera




Altitude de l'orbite du satellite 914 km
Angle de site minimal de l'antenne
0° — — — — —
5° ———

Stations de réception LANDSAT

| Station | Pays hôte | Position approximative | | Station | Position approximative | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Longitude | Latitude | | Longitude | Latitude |
| 1 | USA | 77W | 39N | 9 | 53E | 36N |
| 2 | USA | 149W | 64N | 10 | 4W | 16N |
| 3 | USA | 117W | 35N | 11 | 131E | 31N |
| 4 | Canada | 106W | 53N | 12 | 78E | 17N |
| 5 | Brésil | 57W | 15S | 13 | 107E | 6S |
| 6 | Italie | 13E | 42N | 14 | 133E | 23S |
| 7 | Canada | 53W | 49N | 15 | 84E | 56N |

**FIGURE 10** Sept stations existantes, neuf stations supplémentaires projetées ou envisagées : la réception des données LANDSAT tend à gagner le monde entier. (Carte préparé par Milton M. Beilock).

possible de recevoir directement des LANDSAT (et non en transmission différée) des données intéressant la majorité des terres émergées (à l'exclusion de certaines parties de la Chine et de l'Union soviétique).

La zone de couverture (28 millions de $km^2$) de chaque station de réception crée une entité régionale de facto qui n'est limitée que par le chevauchement de la zone de couverture d'une station voisine. En dépit de ce fait, aucune des stations existantes ne reflète pour le moment un caractère régional inhérent à sa gestion ou ses modalités de financement. La Commission économique de l'ONU pour l'Afrique étudie actuellement un programme africain de télédétection qui, s'il est mis en œuvre, devrait déboucher sur la première installation combinée de réception, traitement et diffusion de données et le premier service de formation à ces disciplines qui soient réellement régionaux par leur esprit et leur portée.

L'apparition entre 1980 et 1990 de satellites LANDSAT D emportant le Thematic Mapper et, peut-être, d'autres satellites de détection des ressources et de l'environnement terrestres, risque d'imposer des modifications au mode de réception qui permet actuellement une couverture globale directe avec un nombre relativement restreint de stations de réception correctement réparties. Parmi les solutions éventuelles au problème de réception posé par une diversification future des flots de données figure le système de relais de données TDRSS* qui canaliserait les données provenant de plusieurs satellites en un seul point de collecte aux Etats-Unis.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, les stations de réception du modèle actuel qui sont installées à l'étranger pourraient, sous réserve de modifications mineures de leur équipement, continuer à recevoir des données multibandes directement de LANDSAT D et de ses successeurs si un détecteur MSS du type actuel est embarqué à leur bord, solution qui a été fortement recommandée.

La réception directe des données de télémesure du Thematic Mapper, beaucoup plus puissant, aura vraisemblablement pour conséquence des modifications plus substantielles de l'équipement au sol ou, le cas échéant, des investissements initiaux beaucoup plus élevés comme l'indiquent les chiffres cités pages 127-128. La conception du détecteur, de son sous-système de transmission des données dans le sens Espace-Terre, et du nouveau matériel de réception et de traitement des données au sol qui sera nécessaire, en est encore à un stade trop précoce pour que l'on puisse faire des estimations précises de coûts. Toutefois, la NASA a axé son effort de recherche et de développement dans ce domaine sur le maintien d'une réception directe par les stations au sol réparties à la surface du globe dans des limites de coût et d'exploitation qui ne sont pas notablement différentes des conditions actuelles.

*Voir Chapitre V, page 125.

Quelles que soient les dispositions adoptées en dernier recours pour la réception des données, la formule des installations régionales proposée pour le soutien et les services techniques en matière de télédétection devrait conserver ses mérites. Les économies d'échelle et l'utilisation efficace de ressources peu abondantes en sont probablement les plus importants, sans qu'il faille négliger les avantages annexes que constituent une meilleure connaissance régionale des problèmes communs de ressources et d'environnement et leur gestion en coopération.

Parmi les installations régionales de soutien devraient figurer une gamme de matériel de traitement pour la correction et la transformation des données de télémesure en produits utilisables, et un centre de stockage et de diffusion des données chargé de collecter, cataloguer, stocker, ressaisir, reproduire et diffuser les données de LANDSAT et données apparentées (météorologiques, cartographiques et autres). L'étendue de l'exploitation et le volume des fonctions peuvent varier dans une certaine mesure d'une région à une autre. Les besoins varieront localement quant à la vitesse du service, la capacité de stockage, la facilité d'accès, la fréquence et le volume de la production, la demande en produits normalisés ou spécialement adaptés et la contribution sous forme d'analyse et d'interprétation directe ou sur calculateur.

Il serait précieux que les centres régionaux puissent associer à ces moyens matériels des services d'enseignement et de formation pour le personnel utilisateur des pays participants et des possibilités d'assistance technique aux organismes responsables de la télédétection dans chaque pays.

En théorie, ces différents éléments d'une exploitation régionale ne doivent pas nécessairement être installés au même endroit ; en particulier, l'emplacement de la station de réception de données de LANDSAT peut être dicté davantage par des considérations géographiques que par la commodité ; pour le reste, la constitution d'un centre régional intégré contribuerait à son efficacité et augmenterait le potentiel de formation et de service du personnel régional.

Les Nations Unies ont publié des études détaillées sur la conception d'installations régionales de télédétection[2,3]. Avec l'obligation d'un soutien multilatéral, un centre régional doté des diverses fonctions mentionnées ci-dessus pourrait devenir un outil de premier ordre pour faciliter l'accès des pays en voie de développement à la technologie de la télédétection et pour résoudre les problèmes de personnel spécialisé auxquels tous ont à faire face.

### Le problème du prix des produits

Il faut bien admettre que la dispersion des installations de réception et de traitement, complétées par les services auxiliaires que les pays souhaiteront sans doute y ajouter, occasionnera de nouvelles charges financières, ce qui risque de poser des problèmes difficile à résoudre.

Le tarif modéré des produits de télédétection vendus par le centre de données EROS a incontestablement joué un rôle important dans la croissance et la diffusion rapide de la demande au cours des quatre premières années d'exploitation de LANDSAT. Avec ce tarif, basé sur les coûts réels encourus par la reproduction des clichés, films et bandes, les frais d'exploitation du centre ne sont couverts que pour une faible partie. Les acheteurs américains et étrangers des produits du centre EROS ont donc bénéficié d'une importante subvention américaine. Pour rentrer davantage dans ses frais, le centre EROS a majoré son tarif en janvier 1977. L'important potentiel de vente que représente le seul marché américain, y compris les utilisateurs au niveau du gouvernement féderal et des Etats, et du secteur privé, rend improbable une prochaine modification de la structure des prix du centre par rapport au tarif actuel.

Les utilisateurs des produits de la télédétection dans les pays en voie de développement se trouveront vraisemblablement devant une situation bien différente. A mesure qu'ils entreront en service, les centres locaux de réception et de traitement reprendront la responsabilité de la diffusion des produits de LANDSAT pour leur zone respective. Les accords passés entre la NASA et des stations de réception étrangères stipulent que ces dernières doivent vendre les produits moyennant "un montant juste et raisonnable", fondé sur le coût réel. Mais, avec les variantes qui existent dans la détermination de ce qui constitue généralement le coût, et compte tenu de la faible étendue et de la croissance lente des marchés du tiers monde, il n'est pas impossible que le tarif "juste et raisonnable" excède parfois fortement celui du centre EROS (ainsi que l'ont déjà montré les tarifs pratiqués par une station). Il en sera assurément ainsi si les exploitants nationaux ou régionaux veulent que les stations de réception couvrent leurs frais. Et pourtant, à défaut d'une politique de couverture des coûts par la vente des produits, les responsables des centres dans les pays en voie de développement risquent de se trouver en déficit et, partant, de connaître une période prolongée pendant laquelle leur exploitation devra être subventionnée.

La réduction des marchés potentiels résultant du chevauchement (et de la concurrence) de la zone couverte par deux stations géographiquement proches ne fera qu'accentuer leurs difficultés. Autre facteur qui pèsera sur la viabilité financière des stations étrangères, la NASA vient d'instaurer un droit d'accès annuel "symbolique" aux données de LANDSAT afin d'établir le principe du partage des coûts. Ce droit annuel initial, de $200 000 par station, doit être perçu indépendamment du volume d'activité réel ou potentiel des stations. La NASA étudie pour l'avenir d'autres modalités de partage des coûts.

## Evaluation du rapport des profits et des coûts

En étudiant les investissements que nécessitera l'acquisition de moyens nationaux et régionaux de télédétection, les pays en voie de développement

auront à répondre à une question qui accompagne en principe l'adoption de tout projet nouveau et important. La décision d'engager des dépenses doit se fonder, au moins en partie, sur une étude approfondie des coûts et des profits. Mais le caractère complexe et changeant de la télédétection spatiale rend cette analyse pratiquement impossible et, en dernier recours, ne lui donne guère de signification.

L'*estimation des coûts* sera éventuellement une opération relativement simple (sinon toujours sûre), lorsque les éléments de coût auront été définis dans une équation profit/coût. C'est du but assigné à l'analyse que dépendra leur caractère exhaustif. C'est ainsi que deux grandes études profit/coût, qui viennent d'être achevées aux Etats-Unis, ont fait apparaître du côté des coûts toutes les dépenses occasionnées par le développement et l'exploitation des secteurs spatial et terrien de LANDSAT, parce qu'elles avaient pour objectif de déterminer la valeur totale du système en tant qu'effort national[4,5]. De même, une étude récente des Nations Unies a présenté des estimations exhaustives de coût portant sur plusieurs solutions de système complet de télédétection à participation internationale[6]. Dans d'autres études, on a estimé les dépenses d'investissements et frais d'exploitation d'installations régionales de réception et de traitement des données, et d'installations régionales de formation et de services.

Un nombre croissant de publications qui étudient a posteriori des programmes fondés sur des données de télédétection contiennent des chiffres comparant dans chaque cas les coûts exposés en utilisant des données d'origine spatiale avec les coûts généralement appliqués pour les sources traditionnelles de données[7]. Dans ce cas, le gain est constitué simplement par l'économie rendue possible par la substitution d'une technique à une autre pour mener à bien un travail donné. Ce genre d'analyse coût/efficacité se justifie dans des cas isolés qui permettent de comparer les résultats de différentes méthodes en présence d'un ensemble précis de contraintes et d'objectifs. (Comme ces derniers varient d'un cas à l'autre, on ne saurait attendre des résultats répertoriés dans les publications qu'une valeur grossièrement indicative.)*

L'*estimation des profits* dans un sens plus général, comme ceux que pourrait produire par exemple la décision éventuelle de créer un service national de télédétection, soulève des difficultés d'un tout autre ordre. Si des moyens de télédétection doivent être considérés comme une infrastructure d'intérêt national, les profits doivent être envisagés dans un laps de temps relativement

*Dans le cadre des modalités financières actuelles, ces calculs du rapport coût/efficacité peuvent être d'une certaine utilité pour les pays utilisateurs même s'ils laissent manifestement de côté des postes tels que les travaux de recherche et de développement sur le satellite et le détecteur, les coûts réels des satellites et des lancements, la maintenance des bases de lancement et l'exploitation des satellites en orbite. Ces coûts sont actuellement supportés en quasi-totalité par les Etats-Unis.

étendu permettant aux effets de la "courbe d'apprentissage" de se manifester. De plus, les profits doivent être évalués non seulement en termes d'économies de coût ou d'amélioration des performances par rapport aux méthodes de collecte des données en usage, mais également sous l'angle des nouvelles fonctions que la télédétection est seule à pouvoir assurer. Il faudra enfin faire une distinction parmi les profits entre ceux qui sont tangibles et quantifiables (rendement économique manifeste), tangibles mais non quantifiables (amélioration des prises de décision), ou intangibles (intérêt éducatif ou scientifique).

On verra que les résultats d'une étude donnée sont très facilement modifiés par les particularités des hypothèses qui ont été faites, tant en ce qui concerne le rendement technique projeté de l'installation de télédétection en cause que les décisions de gestion découlant de l'utilisation des produits de cette installation.

Il faut être très prudent en extrapolant les résultats des études faites aux Etats-Unis sur l'utilisation de la télédétection pour estimer les profits nets potentiels que de tels systèmes pourraient produire dans d'autres parties du monde. En premier lieu, l'organisation des grandes activités comme l'agriculture, la sylviculture, la prospection et l'extraction minière aux Etats-Unis diffère grandement de celle des autres nations. En second lieu, il existe de profondes différences dans les systèmes d'information proposés aux personnes physiques et morales qui se livrent à ce genre d'activités aux Etats-Unis et ailleurs.

Le contraste observé entre deux grandes études qui viennent d'être achevées aux Etats-Unis montre à quel point il est difficile d'entreprendre des analyses du rapport profit/coût dans un domaine où règnent de telles incertitudes. Ces études donnent l'impression d'aboutir à des conclusions divergentes ; toutes deux ont été positives, mais les conclusions de l'une sont très prudentes et celles de l'autre très optimistes. Cette différence marquée tenait apparemment à une raison importante : dans l'une des analyses, l'accent était mis sur l'estimation des profits nets potentiels, tandis que l'autre tendait à estimer les profits nets qui pourraient être effectivement réalisés à relativement court terme.

Quel que soit le type d'application, l'estimation des profits potentiels peut constituer une première étape utile parce que, si les prévisions sont optimistes, cela indique que l'étude mérite d'être poussée plus avant. Pour concrétiser des profits potentiels, il faut le plus souvent procéder à d'importants investissements annexes, tant publics que privés, et il arrive qu'une activité doive être profondément restructurée. Cela tient essentiellement au fait que les données de télédétection n'ont pas de valeur économique en tant que telles. Elles acquièrent de la valeur lorsqu'elles sont traduites en informations utilisables qui influeront effectivement sur le comportement des individus et des entités,

par exemple en modifiant le niveau du rendement, en réduisant les incertitudes, etc. (A ce sujet, il importe de noter, en particulier dans des régions du monde en voie de développement, la nécessité de faire figurer dans l'analyse les implications sur la répartition des revenus et autres profits sociaux.)

Dans les pays industrialisés, il existe déjà des systèmes d'information avec lesquels les "utilisateurs" sont familiarisés et qu'ils ont l'habitude d'intégrer dans leurs décisions et activités. Pour eux, il sera sans doute fréquent que les données de télédétection constituent essentiellement un moyen de réduire le coût d'acquisition des données brutes, même s'il s'avère nécessaire d'adapter le système et de modifier certains arrangements de type institutionnel. Lorsque des utilisateurs sont déjà formés à l'emploi de ces grandes catégories d'information, on peut prévoir sans peine que les données seront effectivement utilisées et. de ce fait, quel est le type de profit net qui en sera tiré (réduit parfois en totalité ou en partie à une simple économie).

Par contraste, les systèmes d'information sont inexistants ou primitifs dans le tiers monde, et spécialement pour des activités comme l'agriculture, et les utilisateurs potentiels ne seraient sans doute pas familiarisés avec les méthodes d'intégration, dans un processus de décision, d'informations comme celles qui pourraient être mises à leur disposition à la suite de l'adoption de la télédétection et des techniques annexes. Dans une situation de ce genre, les profits potentiels peuvent être encore plus étendus que ce n'est le cas dans les sociétés industrialisées, mais la réalisation de ce potentiel pourra nécessiter des modifications profondes des pratiques individuelles, des institutions et du comportement. Une modification d'une telle ampleur peut prendre des années et nécessiter des investissements substantiels, bien supérieurs aux coûts liés aux activités de télédétection.

## Notes

1. International Astronautical Federation, *Ground Systems for Receiving, Analyzing, and Disseminating Earth Resources Satellite Data* (New York, Institute of Aeronautics and Astronautics, 1974. Adresse : 1290 Avenue of the Americas, New York, New York 10019).
2. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space *Implementation Requirements for an International Regional Data Storage and Dissemination Centre for Earth Resources Satellite and Related Data* (A/AC.105/137), Jan. 1975.
3. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Implementation Requirements for a Remote Sensing Training Facility at an International Regional Data Storage and Dissemination Centre: Report by the Secretariat* (A/AC.105/138), Jan. 1975.
4. ECON Incorporated, *The Economic Value of Remote Sensing of Earth Resources from Space: An ERTS Overview and the Value of Continuity of Service*, préparée pour la National Aeronautics and Space Administration, 13 vols. (Princeton, N.J., 1974).

5. Earth Satellite Corporation and the Booz-Allen Applied Research Corporation, *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study: Economic, Environmental, and Social Costs and Benefits for Future Earth Resources Survey Systems*, préparée pour le U.S. Dept. of Interior/Geological Survey, 12 vols. (Washington, D.C., 1974).
6. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Preliminary Study of the Organizational and Financial Requirements of a Future Operational Space Segment of an International Earth Resources Survey System: Report of the Secretariat* (A/AC.105/156), Feb. 23, 1976.
7. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Actual and Predicted Costs and Benefits Involved in the Practical Application of Remote Sensing Technology. Report of the Secretariat* (A/AC.105/153), Feb. 18, 1976.

# VII Problèmes internationaux - perspectives

La technologie de la télédétection spatiale des ressources naturelles et de l'environnement, on a pu le noter dans les précédents chapitres du présent rapport, a pris un élan qui semble devoir la mener à des niveaux élevés d'efficacité et de rentabilité. En même temps, un nombre croissant de pays, en particulier dans les régions en voie de développement, cherchent à acquérir les compétences, le matériel et l'expérience nécessaires pour appliquer les donnés des satellites aux activités de gestion et de développement de leurs ressources.

Mais ces événements ne se produisent pas dans un vide politique. Le caractère novateur de cette technologie spatiale et les retombées pratiques qu'elle porte en elle ont mis en lumière une série de difficiles questions politiques, économiques et administratives auxquelles la communauté internationale devra finir par répondre. Depuis cinq ans, le Comité des Nations Unies sur les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, son sous-comité juridique et son sous-comité scientifique et technique examinent à la fois les promesses que les activités de télédétection des ressources apportent au monde et les problèmes qu'elles lui posent. Des questions telles que le contrôle de la dissémination des données, le partage des coûts et l'instauration d'un régime international pour la gestion et l'utilisation de cette technologie sont toujours à l'ordre du jour.

Quelle que soit l'attraction qu'exerce sur eux la télédétection par satellite du fait de son intérêt pour le développement, un certain nombre de pays redoutent les inconvénients politiques et autres qu'elle peut dissimuler. Ces préoccupations n'ont pas arrêté le développement de cette technologie dans sa phase expérimentale ni entravé l'accroissement de l'intérêt que ses avantages suscitent chez eux. Mais il est sage de s. . oser que le rythme auquel cette technologie, dans son sens le plus étendu, évoluera et sera acceptée dans de nombreuses parties du monde, dépendra, à un degré non négligeable, de la façon dont ces questions seront abordées et résolues.

## Préoccupations nationales

L'attitude de nombreuses nations à cet égard a été caractérisée par une singulière ambivalence. Quelques pays, qui se sont démenés pour acquérir des

compétences dans l'utilisation de la télédétection, ont également été les premiers à exprimer leurs préoccupations au sujet des dangers que cette technologie présente, ou pourrait présenter, pour leurs intérêts : leur souveraineté, leur sécurité et leur bien-être. Mais si ces préoccupations semblent s'être atténuées après quatre années de diffusion croissante des données de LANDSAT, elles continuent d'être au cœur du débat aux Nations Unies pour les aspects juridiques et politiques.

**Questions de souveraineté**

Deux points juridiques mettant en cause la télédétection et le principe de la souveraineté nationale sont étudiés depuis plusieurs années au cours des sessions du Comité sur les utilisations de l'espace extra-atmosphérique et du sous-comité juridique des Nations Unies.

Le premier porte sur le fait de savoir si une nation peut se livrer à des activités de télédétection sur un autre pays sans le consentement préalable de ce dernier. Au début de la présente décennie, le Brésil et l'Argentine ont proposé conjointement un projet de traité comportant une clause de consentement préalable qui a été appuyé, principalement, par plusieurs autres pays d'Amérique latine. Mais la plupart des pays ne paraissent pas préoccupés par le passage de satellites d'observation de la Terre au-dessus de leur territoire ou encore estiment que cette question a, pour le moment, un caractère académique.

Le second point a trait au droit d'un pays "détectant" les ressources naturelles d'un autre pays de transmettre les données ainsi obtenues à un tiers (entité publique ou privée dans le pays "détecteur" ou à l'étranger) sans l'autorisation du pays observé. L'interdiction de cette forme de diffusion sans consentement préalable figure dans le projet argentino-brésilien ainsi que dans un projet présenté collectivement par la France et l'URSS, et semble disposer d'une base de soutien plus étendue. Cette question a été au cœur des délibérations de l'ONU.

Ce qui est débattu, c'est de savoir si une nation a un droit de souveraineté exclusif non seulement sur ses ressources proprement dites, mais également sur les informations concernant ses ressources. Certains pays sont conduits à défendre cette dernière position en raison d'une législation nationale qui définit certaines catégories d'information sur les ressources comme relevant d'un privilège gouvernemental D'autres nations en font autant parce qu'elles considèrent que des images qui dépeignent leurs ressources naturelles et leur physiographie fournissent en fait des informations d'intérêt stratégique. Ce qui est redouté ici, c'est que des tierces parties puissent, selon les termes du projet de traité brésilien, "utiliser les informations ainsi obtenues au détriment" du pays observé.

A la question de souveraineté s'apparente étroitement la notion d'intrusion dans la vie privée de la nation. Quel que soit le prix qu'ils attachent aux avantages de cette technologie, certains pays semblent mal à l'aise à l'idée que le cadre de leur existence soit non seulement "envahi" via l'espace par des détecteurs qui échappent à leur autorité, mais encore étalé au grand jour par la diffusion illimitée de l'image.

On a suggéré, pour lever ces réserves de façon pratique, soit une solution technique soit une solution de procédure. La première envisage la mise au point d'un système espace-sol qui limiterait les observations du satellite aux frontières de chaque pays et les "déverserait" par télémesure codée de façon individuelle et exclusive. La solution de procédure donnerait aux pays détectés un droit d'accès prioritaire aux données les concernant, avant diffusion générale au bout d'un laps de temps préétabli. Ces deux solutions s'accompagnent de complexités qui, à première vue, posent plus de problèmes qu'elles n'en résolvent.

Les Etats-Unis et les autres pays qui plaident pour une politique de libre diffusion soutiennent que la violation de souveraineté et les questions en découlant sont de pure casuistique ; se fondant sur des raisons pratiques, ils affirment que la libre diffusion est la seule politique possible pour que cette technologie s'améliore et soit employée au plus grand bien de tous les pays. Imposer des limitations à la diffusion des données reviendrait à annihiler deux des avantages prééminents de la télédétection par satellite : la vision synoptique et étendue des caractéristiques naturelles et des facteurs d'environnement et de ressource qui sont souvent de portée multinationale, et, pour les objectifs d'une surveillance mondiale (des récoltes par exemple), la disponibilité au moment opportun de données dynamiques importantes pour la communauté internationale dans son ensemble lorsque des problèmes nécessitent une action concertée.

La crainte du tort que pourrait occasionner la libre diffusion des données devrait, dans cette optique, être opposée à deux facteurs : (1) les avantages découlant pour les pays d'une connaissance accrue de l'environnement de la Terre et de ses ressources ; et (2) le fait que les pays disposent aujourd'hui, pour sauvegarder leurs intérêts, de moyens plus efficaces que d'imposer des restrictions à la diffusion des données brutes fournies par satellite*.

*L'argument en faveur de la restriction de la diffusion des données avait plus de poids lorsque les données étaient reçues et diffusées par une seule station, comme ce fut le cas avec le centre de données EROS au cours des premières années du LANDSAT. La multiplication des stations de réception (avec dans certains cas chevauchement réciproque) et des centres de distribution dans différents pays du monde modifie nettement la situation. Par exemple, le pays possesseur d'une station ayant accès aux données concernant tous les pays-clients de sa zone de couverture devient lui-même une tierce partie et entre avec le propriétaire du satellite dans la catégorie des pays "détecteurs".

**Préoccupations économiques**

Derrières les controverses juridiques sur la souveraineté se dissimule dans certains pays en voie de développement la crainte que la technologie de la télédétection puisse conférer des avantages moins à eux-mêmes qu'à d'autres parties : leurs voisins, d'autres pays industrialisés et des entreprises multinationales, en particulier les sociétés d'extraction pétrolière et minière et les négociants en denrées agricoles. Certaines de ces puissances extérieures seraient mieux équipées que le pays détecté pour tirer des images de satellite des informations utiles et, partant, se trouver en position de force à l'occasion de négociations sur les droits d'exploitation de certaines ressources naturelles.

Cette hypothèse peut être combattue pour plusieurs motifs : (1) les pays en voie de développement entrent actuellement en relation d'égal à égal avec des intérêts étrangers, pour l'exploitation mutuellement profitable de leurs ressources et sans répudier leur droit à ces formes ultimes de sanctions que sont la nationalisation ou l'expropriation ; (2) c'est l'autorité matérielle sur les ressources et l'accès à leur emplacement qui constituent l'atout majeur, et non la possession de données provisoires, non vérifiées ; et (3), à mesure que les pays en voie de développement acquièrent leur propre compétence dans le domaine de la télédétection, que ce soit directement ou par l'entremise de consultants extérieurs, le handicap constitué par le manque d'information perdra progressivement de son importance.

Les réticences que les pays en voie de développement peuvent avoir à l'égard des industries extractives ne s'appliquent pas au domaine de l'agriculture. Les incidences qu'un éventuel futur système de prévision régional ou mondial des récoltes pourra avoir sur le comportement des marchés des denrées agricoles et sur les économies nationales qui dépendent fortement d'importations ou d'exportations agricoles ne sont pas encore clairement établies et font actuellement l'objet d'études dans plusieurs centres de recherche.

**Problèmes de sécurité**

La crainte que la diffusion illimitée d'images d'origine spatiale puisse mettre en danger la sécurité nationale n'est pas énoncée de façon aussi ouverte, mais n'entre pas moins en ligne de compte pour un certain nombre de pays. Convoitise, irrédentisme, revendications frontalières et rivalités historiques avec les voisins font que certains pays sont peu enclins à voir diffuser sans restriction des images qui pourraient, selon eux, avoir une importance politique ou militaire pour des nations inamicales proches*. Les restrictions

*Les Etats-Unis et l'Union soviétique se contrôlent mutuellement au moyen de satellites prenant des images à très haute résolution. Cette utilisation croisée de "moyens techniques nationaux de vérification", prévus dans les accords sur la limitation des armements, a reçu une approbation internationale en tant qu'élément central de la prévision d'une guerre nucléaire et n'a pas été perçue comme une source de préoccupation pour d'autres nations.

imposées par de nombreux pays sur la diffusion générale de cartes à moyenne et à petite échelle de leurs zones frontalières et autres régions stratégiques sont une bonne illustration de ce genre de préoccupation. Ces restrictions ont à l'occasion constitué un handicap sévère pour les opérations de vérité terrain entreprises pour vérifier des observations spatiales dans le cadre d'un projet de développement à financement international. Des cartes traditionnelles ont même été parfois refusées pour des motifs de sécurité militaire en dépit du fait qu'elles étaient moins détaillées que les images de satellite disponibles dans le public.

A ce jour, l'expérience des LANDSAT montre que des images ayant une résolution de 80 m, même fortement agrandies, révèlent très peu de traces du travail de l'homme, et seulement de façon très grossière : caractéristiques linéaires telles que routes, pistes d'atterrissage et réseaux de voies urbaines. La résolution de 40 m que l'on attend du détecteur RBV de LANDSAT C et la résolution de 30 m envisagée pour le Thematic Mapper devraient fournir des données améliorées sur les ressources et une meilleure définition des autres caractéristiques. A en juger des récentes délibérations dans les organes des Nations Unies qui s'occupent de télédétection, ces niveaux de résolution semblent acceptables dans leurs grandes lignes. Les photographies prises du SKYLAB de différentes parties du monde à une résolution encore plus fine, de l'ordre de 17 m, ont été diffusées sans restriction et circulent librement.

Des résolutions encore plus fines, de l'ordre de 10 m ou mieux, ont été recommandées pour certaines applications spécifiques de la télédétection aux Etats-Unis[1]. Selon un récent rapport d'experts de l'ONU, "A l'heure actuelle, les usagers pensent qu'une résolution "spatiale" de 10 mètres suffirait pour la plupart des applications. Certains se contentent de la résolution de LANDSAT (80 mètres), mais d'autres souhaiteraient une résolution un peu meilleure, de 30 mètres par exemple."[2]

La télédétection multibande avec 10 m de résolution à l'échelle du monde aurait pour résultat une augmentation si formidable du débit et du volume de données que la gestion en deviendrait impossible. Par contre, un système ayant cette résolution serait exploitable dans l'hypothèse d'une sélection ponctuelle des images. Mais une telle méthode devrait prouver son bien-fondé économique par rapport à la détection aérienne, qui présente pour avantages supplémentaires d'être effectuée dans l'espace aérien du pays et de relever juridiquement et techniquement de son autorité.

Pour les pays que préoccupe la diffusion publique d'images aux niveaux de résolution présents ou anticipés, le problème de la détection par satellite se résout finalement à l'alternative suivante : soit maintenir des restrictions cartographiques inspirées par le secret militaire, soit répondre aux besoins des gestionnaires et planificateurs en informations sur les ressources et l'environnement, essentielles pour le progrès économique national. Les préoccupations

de sécurité pourraient néanmoins obérer les chances de parvenir à un arrangement international généralement acceptable sur la gestion d'un système de télédétection. Si de telles préoccupations persistent, il faudra en tenir compte dans l'étude éventuelle de futures propositions visant à passer à des niveaux plus élevés de résolution géométrique.

**Dépendance et responsabilité**

L'étude de la télédétection au plan international a fait ressortir deux autres questions qui, sans doute à l'opposé de celles qui viennent d'être examinées, devraient avec le temps acquérir plus de poids et un caractère plus pressant.

Pour la première, il s'agit de savoir dans quelle mesure les pays seront disposés à s'en remettre à la bonne volonté et à la solidité d'un seul pays fournisseur pour un service critique. Si la technologie de la télédétection devait finir par tenir ses promesses, elle deviendrait indispensable à de nombreux pays. Les nations utilisatrices auront fait d'importants investissements en installations de diverses natures. Elles auront adapté leurs processus de collecte des données et de prise de décision, dans les secteurs tant publics que privés, aux caractéristiques particulières des images de satellites et à l'assurance d'en disposer. Il sera donc capital pour elles qu'un service sur lequel leurs systèmes reposeront présente des garanties de stabilité et de continuité.

Pour des raisons aussi bien politiques que pratiques, il est douteux que des pays utilisateurs soient disposés à rester indéfiniment à la merci d'un service, vital pour eux, qui relève de l'autorité d'un seul pays. On peut s'attendre qu'une dépendance croissante conduise à une demande croissante de participation à la gestion et à l'avenir du service global. Le refus d'une participation encouragerait l'apparition de systèmes concurrents sous d'autres auspices, ce qui, dans la mesure où ils feraient double emploi, serait un gâchis financier.

La seconde question a trait à la responsabilité qu'un pays de technologie avancée travaillant dans les "communaux" internationaux de l'espace doit avoir à l'égard de la collectivité. Au cours des dix ou vingt dernières années, l'étendue des activités de nombreuses nations dans deux domaines communs de l'humanité, les océans et l'espace, a conduit à prendre des mesures pour sauvegarder les intérêts de tous les pays quant à leur utilisation et pour imposer aux nations qui sont au travail dans ces milieux un certain degré de responsabilité à l'égard des autres membres de la collectivité. Posséder les moyens de se livrer à la télédétection, d'utiliser les "communaux" de l'espace pour recueillir des données sur la surface de la Terre, revient à faire usage d'un bien public pour un profit individuel ou collectif. On tend à penser que cela devrait s'accompagner d'une obligation de rendre compte à un organe reflétant les intérêts de la communauté au sens étendu et de faire droit à ses désirs.

En somme, un certain nombre d'éléments, les uns vénérables comme la souveraineté nationale et les autres inédits comme le caractère de service public de l'espace, se combinent pour créer un climat favorable à l'établissement d'un cadre international dans lequel les questions internationales posées par cette nouvelle technologie puissent être résolues rationnellement.

## La tendance à l'internationalisation

Bien qu'elles soient dominées depuis le début par les Etats-Unis et l'Union soviétique, les activités spatiales ont acquis une portée internationale. Des satellites de télécommunications fonctionnent déjà en vertu d'arrangements multilatéraux en bonne et due forme, et les données des satellites météorologiques sont diffusées au plan international. Il existe de nombreux projets en coopération pour le lancement d'instruments groupés en vue de la recherche scientifique. Toutes les activités spatiales sont soumises au Traité des Nations Unies sur l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique dont l'article premier déclare que l'exploration et l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique "doivent se faire pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays, quel que soit le stade de leur développement économique ou scientifique ; elles sont l'apanage de l'humanité toute entière".

A ce jour, les Etats-Unis sont les seuls à avoir mis sur orbite un satellite expérimental spécialisé dans la détection des ressources terrestres et à mettre les données recueillies à la disposition de tous les pays. Mais cette activité a déjà d'importants prolongements internationaux : plus de 50 pays ont coopéré à des expériences de télédétection ; 120 pays ont acquis des images ou des bandes auprès du centre de données EROS de Sioux Falls, Dakota du sud ; 3 pays autres que les Etats-Unis ont des stations de réception en service ; et plusieurs autres en auront prochainement. Les comités des Nations Unies étudient activement plusieurs formules en vue d'établir à l'avenir un régime international d'administration ou d'exploitation de systèmes de télédétection. Plusieurs caractéristiques propres à cette technologie soulignent la nécessité de prendre sérieusement en considération l'idée de systèmes de télédétection gérés sur la base d'accords internationaux.

### Les diktats de la technique

Les satellites d'étude des ressources naturelles sont un exemple frappant de technologie spatiale entièrement axée sur des applications terrestres. Quarante fois par an, les satellites LANDSAT survolent chaque parcelle de chaque pays du monde en ayant la possibilité de retracer les caractéristiques superficielles de chaque nation et d'observer les modifications apportées à leur paysage par

l'homme et par les éléments naturels. De par sa nature même, la télédétection spatiale des ressources est une technologie qui met en cause chaque pays. Et pratiquement chaque pays espère avoir sa part de ses bénéfices.

La possibilité pour un seul système spatial de répondre à une part importante des besoins mondiaux en données sur les ressources, la variété des utilisations critiques auxquelles ses produits peuvent donner lieu, le fait que de nombreux pays puissent s'en remettre à lui pour l'exploitation de leurs ressources, autant d'éléments qui confèrent à un système de télédétection spatiale (composé d'un ou de plusieurs satellites) le caractère d'un service public international. Une telle fonction impose une forme ou une autre de coopération ou de cadre international pour que la gestion d'un tel système de détection des ressources soit économiquement efficace et politiquement acceptable.

**Besoins mondiaux et régionaux**

Pendant les premières années d'utilisation expérimentale des produits de la télédétection, l'attention s'est portée essentiellement sur les applications intéressant les pays, pris individuellement. Mais tout porte à croire que les données de LANDSAT et des satellites qui lui succéderont auront de plus en plus de prix pour certains problèmes plurinationaux intéressant des ensembles de pays et la communauté mondiale en général.

Les données multibandes de LANDSAT ont montré qu'elles pouvaient fournir les informations dont on a besoin sur le niveau des eaux dans les réservoirs des systèmes fluviaux intéressant plusieurs pays et dont la protection peut nécessiter une action collective concertée. Dans le domaine de la géologie, il est fréquent que de grands schémas structuraux ne puissent être compris lorsqu'ils sont examinés pays par pays. Les données de LANDSAT ont amélioré la compréhension du processus de désertification dans la Sahel et ont permis de détecter l'existence en Afrique des conditions propres à la prolifération des sauterelles qui peuvent ensuite détruire les récoltes dans la péninsule arabe[3]. Les techniques actuelles ont également prouvé qu'elles pouvaient détecter la pollution dans les lacs et les rivières internationaux et repérer des nappes de pétrole en haute mer. Combinées aux données des satellites météorologiques et autres, elles auront probablement davantage à offrir dans l'optique d'une future politique globale de l'environnement.

Mais ce qui est encore plus important, alors que nous avons une nouvelle perception des limitations et des pénuries mondiales en matière de ressources, c'est la capacité escomptée d'un système de satellites de fournir des données à l'échelle du monde sur les prévisions de récoltes (même si cela reste à démontrer) ; sur les ressources régionales en eau ; sur l'état des forêts, des terrains de parcours et des zones désertiques à l'échelle des continents ; et sur les zones où une prospection minière mérite d'être tentée. Ce sont là

des questions d'importance vitale pour des continents entiers et, dans des cas comme celui de l'alimentation, pour le monde entier. Donner suite à la proposition de la Conférence mondiale sur l'alimentation de 1974 tendant à établir un service coordonné de réserves alimentaires nécessitera des estimations fréquentes et fiables des rendements des récoltes alimentaires à l'échelle du monde. On attend des données sur les ressources terrestres, complétées par des informations météorologiques mondiales, qu'elles apportent une contribution essentielle à ce projet.

Avec leur vision uniforme de la surface du globe, les satellites d'observation de la Terre ouvrent la voie à des formats normalisés de données permettant d'établir des inventaires mondiaux de différentes ressources renouvelables : bois, fourrage et, on l'espère, agriculture. De tels inventaires, établis rapidement et mis à jour fréquemment, devraient donner à la collectivité mondiale un outil puissant et nouveau pour une gestion plus rationnelle de la biosphère.

### Répondre aux préoccupations nationales

Certaines des craintes et des suspicions que la télédétection a fait naître dans certains pays sont liées au fait que l'autorité sur le système et son exploitation sont concentrées actuellement en une seule main.

Pour le moment, les décisions essentielles ayant trait aux besoins que la télédétection doit satisfaire (et aux implications techniques en matière de détecteurs, de canaux, d'orbites, d'angles solaires), les principes régissant la diffusion des données, et la plupart des autres questions concernant la télédétection relèvent tous de l'autorité des Etats-Unis. En l'absence d'un autre système, le gouvernement américain décide seul si les données spatiales doivent continuer à être diffusées à l'avenir. C'est pourquoi les utilisateurs potentiels de ces informations peuvent hésiter avant de modifier leurs méthodes de collecte de données et de prise de décision. Ils peuvent également répugner à faire des investissements dans des systèmes d'analyse fondés sur cette technologie tant qu'ils ne sont pas assurés de la permanence du programme (ce à quoi les Etats-Unis ne se sont pas encore formellement engagés). Ainsi que l'ont montré diverses études, l'incertitude quant à l'avenir du système a le même effet de frein à l'égard des utilisateurs potentiels des Etats-Unis que de ceux d'autres pays[4].

Un système opérationnel de télédétection régi par un arrangement international approprié pourrait contribuer à dissiper nombre des craintes nationales. La continuité du programme cesserait de dépendre des aléas budgétaires ou politiques internes d'un seul pays. De plus, ce système ouvrirait la voie à une participation élargie aux décisions et réduirait le sentiment de dépendance à l'égard de l'égoisme et de la bonne volonté d'une grande puissance spatiale. La possibilité d'atteindre ces objectifs dépendra sans doute

dans une certaine mesure de la forme que prendrait un futur régime international.

### Ebauche d'une internationalisation

Dès le début du programme de ressources terrestres, le gouvernement des Etats-Unis a été attentif aux implications internationales de la télédétection. Outre les comptes rendus sur ses travaux aux Nations Unies et sa participation aux discussions de l'ONU sur la télédétection, il a entamé, par l'intermédiaire de la NASA, un processus consultatif avec les représentants des pays propriétaires de stations réceptrices par le biais du Groupe de travail sur l'exploitation des stations sol LANDSAT. Les Etats-Unis ont également proposé de déposer auprès d'un organisme international approprié une copie sur bande de toutes les données sur les ressources prises par satellite, ont soutenu la thèse de stations sol assurant, en dehors de leur territoire, une fonction régionale, et ont soumis à la discussion un certain nombre de lignes directrices pour la gestion internationale de la télédétection lorsque le système passera du mode expérimental au stade de l'exploitation.

Bien que les Etats-Unis ne se soient pas encore engagés formellement à exploiter un système de télédétection opérationnel (c'est-à-dire permanent), le fait que les utilisateurs américains apprécient de plus en plus à leur juste valeur les données des satellites rend improbable que l'Etat fédéral interrompe son programme. Et même dans l'éventualité lointaine où cela arriverait, d'autres puissances spatiales (par exemple l'URSS ou le Japon), des groupes de pays (Agence spatiale européenne) ou d'autres consortiums seraient amenés à placer sur orbite des satellites de télédétection de leur fabrication ou à commander aux Etats-Unis un système en état de marche.

Les Etats-Unis peuvent juger qu'il est de leur intérêt de poursuivre les initiatives qu'ils ont déjà prises en vue de rechercher une participation élargie à leurs travaux. Les avantages opérationnels d'une prise de décision unilatérale dans le développement et la gestion d'un système de haute technologie sont manifestes, mais on peut tirer un bénéfice notable d'arrangements qui permettent à d'autres nations de jouer un rôle effectif. Un régime international pourrait constituer un mécanisme de partage des coûts de développement et d'exploitation du secteur spatial, coûts supportés jusqu'à présent en totalité par les Etats-Unis. De même, il serait possible de répartir les coûts des investissements du secteur sol, supportés jusqu'à présent par des pays pris individuellement. En outre, dans l'éventualité où des pays pourraient souhaiter, individuellement ou en groupe, faire leur entrée dans l'espace avec leur propre satellite, un régime international pourrait contribuer à décourager les doubles emplois coûteux. Il pourrait enfin assurer une coordination des initiatives, de

telle sorte que des satellites et des détecteurs nouveaux complètent ceux qui existent déjà et soient compatibles avec le réseau de stations sol existant.

L'intérêt que présente pour les Etats-Unis une participation élargie tient principalement au fait que celle-ci peut encourager la coopération internationale à s'occuper efficacement des problèmes que posent à l'échelle du globe les ressources, l'environnement, l'alimentation, la démographie et le bien-être de l'homme. Un régime international en coopération pour la télédétection spatiale des ressources de la Terre pourrait apporter une contribution majeure à la poursuite de cet objectif, tant dans les principes que dans les faits.

## Arrangements internationaux possibles

Dans l'étude d'un système de télédétection, il convient d'examiner séparément les possibilités d'arrangements internationaux pour le secteur spatial d'une part et le secteur terrien de l'autre, du fait de leurs divergences profondes. Le secteur terrien semble en effet se prêter beaucoup mieux à des arrangements multilatéraux que le lancement et la gestion des satellites.

### Le secteur terrien

Les arrangements internationaux régissant le secteur de réception au sol d'un système de télédétection peuvent varier d'un réseau lâche de stations de réception nationales ou régionales à un réseau mondial dont la propriété et la gestion centralisées sont placées sous les auspices d'une entité multinationale. Nous étudierons ci-après cinq possibilités :

**1. Stations nationales** Le cadre actuel des relations internationales est fondé sur des accords bilatéraux conclus entre les Etats-Unis et les pays qui souhaitent installer des installations nationales de réception. Les Etats-Unis ont appliqué une politique constante, qui se retrouve dans d'autres opérations liées à l'espace, consistant à conclure des arrangements de coopération fondés sur l'intérêt mutuel et sur la capacité du pays intéressé à supporter les coûts de sa part des activités. L'emplacement des stations de réception a donc été déterminé pour l'essentiel par l'initiative et le libre choix de chaque pays. La facilité de négocier individuellement avec les pays sur une base bilatérale a amené les Etats-Unis à adopter cette méthode tout en espérant qu'un nombre suffisant de candidats se présenterait dans différentes régions du monde pour parvenir rapidement à une capacité de réception directe des données couvrant la totalité du globe.

L'initiative revenant à chaque pays, la NASA n'a rien fait pour établir un plan idéal de répartition des stations de réception à la surface du globe. Dans

la meilleure hypothèse, elle a estimé qu'un maximum de 20 stations correctement réparties (avec chacune un rayon de 3000 km) suffirait à assurer une couverture directe. Mais des considérations politiques ou autres, y compris l'éventuelle réticence d'un pays propriétaire de station à desservir un pays voisin qu'il juge hostile, peut conduire à la construction d'un plus grand nombre de stations. Toutefois, la prolifération des stations de réception (comme c'est le cas d'INTELSAT) n'est ni opérationnellement nécessaire ni économiquement souhaitable.

Les accords conclus avec les Etats-Unis stipulent que les pays propriétaires de station doivent fournir les produits de données à d'autres pays dans leur zone de couverture, ce qui revient à assumer localement la fonction de diffusion assurée jusque là par le seul centre de données EROS. Faute de répercuter sur ses clients intérieurs et extérieurs la totalité des coûts de production des données fournies, le pays propriétaire d'une station devra inévitablement subventionner le service qu'il assure aux utilisateurs nationaux ou étrangers. Les pays qui se lancent dans les investissements correspondant à une station nationale doivent en peser soigneusement les frais d'exploitation à long terme, qui peuvent être substantiels, et les perspectives de rentrer dans leurs fonds, qui risquent d'être limitées au départ.

Autre problème lié à la propriété nationale des stations, chaque pays assurant la collecte des données est libre de choisir le type et la capacité de son matériel annexe de traitement des données sans tenir compte nécessairement des besoins (en volume et en rapidité de traitement) des pays utilisateurs se trouvant dans sa zone de couverture.

La politique consistant à organiser la réception des données de satellites au moyen d'accords bilatéraux risque donc de déboucher sur une mosaïque hétérogène de localisation des stations, de qualité des services, et de relations internationales qui ne sera pas la meilleure base possible pour un futur système assurant une couverture mondiale complète et efficace.

**2. Stations régionales** Les stations régionales présentent des avantages qui vont au-delà du simple fait d'éviter la multiplication de stations dont les couvertures se chevauchent et les doubles emplois coûteux qui en résultent. Lorsque plusieurs pays établissent en coopération une station régionale, ils peuvent en partager les coûts et renforcer sa position financière. Ils ont également leur mot à dire sur l'importance des services de traitement, de stockage, d'analyse, de formation et d'assistance technique qu'ils veulent joindre à la station pour faire face à leurs besoins communs. Le fait tangible de travailler ensemble à organiser et gérer une station de réception commune pourrait avoir l'intérêt supplémentaire de créer ou de renforcer des schémas de coopération sur des problèmes régionaux, en particulier les problèmes de ressources et d'environnement qui constituent la mission des satellites de ressources terrestres. Un arrangement régional facilitera dans certains cas la

prestation de services à un pays politiquement en mauvais termes avec ses voisins. (Si un pays se voit refuser un service régional, il pourra quand même recevoir les données qui l'intéressent via d'autres stations par lecture des enregistreurs sur bande, si les moyens matériels existent, ou par transmission directe via le TDRSS envisagé.)

Les Etats-Unis ont indiqué qu'ils étaient disposés à passer des accords avec des entités régionales pour l'établissement de stations. La première opération de ce genre qui devrait être réalisée pourrait être celle qui est proposée par l'Agence spatiale européenne. Cet arrangement comporterait la station de réception existant en Italie, une station en projet en Suède, une station de renfort prévue en Belgique. La Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique envisage également d'établir une station de réception régionale en Haute-Volta, de transformer la station nationale prévue au Zaïre en installation régionale, et d'établir dans d'autres pays des installations régionales de traitement et des services de formation.

Si les études de faisabilité et les prévisions en cours débouchent sur des stations opérationnelles, la NASA aura à coordonner un ensemble mixte de stations vraiment régionales et de stations nationales, répondant sous diverses formes aux besoins régionaux. Si les composantes d'un tel réseau présentent un manque d'uniformité sous forme d'engagements et de politique et, en corollaire des insuffisances en services et installations de soutien, le réseau lui-même risque d'être loin de répondre à ce que l'on attend d'une exploitation du type service public à l'échelle du monde.

**3. Coordination assurée par une agence spécialisée** Une meilleure coordination des stations de réception et des services annexes, et la fourniture de différentes formes d'assistance à financement multilatéral, voilà ce que pourrait assurer une entité internationale mandatée spécialement à cette fin. Cette solution pourrait être le résultat d'une opération menée en coopération à l'initiative de centres régionaux et nationaux, dans le cadre du système des Nations Unies ou non; elle pourrait également avoir son origine dans le système de l'ONU et prendre la forme d'une nouvelle agence affiliée aux Nations Unies, ou être confiée à une agence existante de l'ONU ayant des intérêts importants dans la télédétection.

Les études exploratoires menées aux Nations Unies sur la conception d'une telle agence de coordination et de service ont mis en lumière un grand nombre de fonctions qu'elle pourrait assurer : servir de centre mondial de dépôt et de diffusion des données, contribuer à normaliser les formats et systèmes d'indexation, établir des procédures pour la dissémination des données, fournir une assistance technique, et servir de forum pour l'étude des problèmes techniques, financiers et juridiques[5].

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à Vienne (Autriche) pourrait servir de modèle d'organisme coopératif créé pour faire progresser

l'utilisation d'une technologie unique et inédite, ayant d'énormes incidences potentielles, et pour promouvoir une consultation internationale sur les codes et les pratiques ayant trait à cette technologie. L'AIEA, entité affiliée à l'ONU, a un double mandat : aider les Etats membres à acquérir les bénéfices de l'énergie nucléaire et des autres applications nucléaires, et éviter le détournement des matériaux fissiles à des fins qui pourraient être non pacifiques. Seul le premier mandat nous intéresse.

L'Agence exécute un programme étendu de recherche, de formation, d'échanges scientifiques, d'assistance technique et de projets pilotes se rapportant à l'énergie nucléaire dans des domaines tels que l'agriculture, la médecine, l'industrie et l'exploitation minière[6]. Nombre de ses projets sont menés dans des pays en voie de développement et en coopération avec le Programme de développement des Nations Unies et la FAO.

Il n'est pas indispensable qu'un organisme international destiné à promouvoir les applications de la télédétection spatiale des ressources possède ses propres satellites et ses propres installations de réception au sol. A l'instar de l'AIEA, il pourrait concentrer ses activités sur des programmes aidant ses Etats membres (particulièrement les pays en voie de développement) à tirer le meilleur profit possible de la technologie, directement ou par le biais d'un réseau d'installations régionales de traitement des données, de formation et de service ; il pourrait également coordonner les politiques et les activités des stations de réception au sol en matière de services.

Qu'elle soit organisée au sein ou à l'extérieur du système de l'ONU, une entité internationale assurant tout ou partie des fonctions ci-dessus pourrait être compatible avec la poursuite de l'exploitation d'un secteur spatial appartenant aux Etats-Unis et géré par ce pays.

**4. Système unitaire international** On peut concevoir qu'un organisme fonctionnel de l'ONU ou un consortium indépendant de nations fondatrices finance et exploite un réseau de stations et de centres de distribution régionaux. L'entité gestionnaire pourrait également être propriétaire et responsable du secteur spatial et exploiter les deux secteurs en tant que système mondial intégré de détection des ressources. En principe, ce genre d'arrangement devrait proposer, entre autres avantages, une couverture mondiale au moindre coût grâce à la répartition la plus rationnelle possible des stations de réception, à une équipe technique internationale exploitant les secteurs spatial et terrien, et à une formule de capitalisation par souscription et de partage des coûts reflétant le niveau économique relatif des Etats membres (établi par exemple en fonction du produit national brut), leurs besoins en matière de service, ou autres critères admis.

A première vue, cette solution paraît idéale pour l'efficacité, l'uniformité et la souplesse d'exploitation. Mais une agence unique, propriétaire du matériel de base des secteurs spatial et terrien et exploitée par une administration

centrale à direction internationale, risquerait de rassembler trop de problèmes sous un seul chapeau pour être viable sur le plan opérationnel. De plus, l'importance des capitaux à réunir et la gestion financière nécessairement complexe que nécessiterait un tel projet suffisent à en faire un candidat lointain—mais, à longue échéance, une solution qui n'a rien d'impossible.

**5. Réception mondiale en un seul point** La réalisation d'un système de satellites de relais de données, permettant de recevoir en un seul point les informations mondiales fournies par la télédétection comme le TDRSS en projet, pourrait constituer une solution diamétralement opposée au réseau de stations au sol. Les exploitants actuels et potentiels de stations sol auraient à choisir s'ils s'en remettent exclusivement à une réception ponctuelle des données aux Etats-Unis, avec retransmission des données à l'étranger par différents moyens, ou s'ils conservent des moyens de réception directe sur place. Dans l'un et l'autre cas, les importantes fonctions envisagées pour les centres régionaux en matière de traitement, d'analyse et de diffusion des données, ainsi que de formation, devraient toujours être assurées. Les différentes possibilités d'arrangements multilatéraux présentés dans les paragraphes précédents restent valables. Mais les conséquences éventuelles d'un TDRSS pour les stations de réception nationales et régionales méritent une étude approfondie*.

### Le secteur spatial

La propriété et l'exploitation du secteur spatial d'un système de télédétection des ressources laissent également beaucoup de possibilités de choix. Leur éventail va d'une continuation indéfinie de la situation actuelle, caractérisée par des satellites expérimentaux appartenant entièrement aux Etats-Unis et exploités par ce pays, à un système opérationnel permanent géré par une agence internationale. De nombreuses solutions existent entre ces deux extrêmes.

L'étude des solutions possibles pour le secteur spatial doit tenir compte du fait que les Etats-Unis se sont engagés (comme l'expose le chapitre V) dans des activités de recherche et de développement à long terme visant à établir une technologie de la détection des ressources et de l'environnement adaptée aux besoins des Etats-Unis comme à ceux du reste du monde. Dans cet effort de recherche figure un arsenal de détecteurs ayant des fonctions spécialisées qui peuvent être placés sur un vaste choix de plates-formes dont l'étagement va du niveau du sol à l'orbite des satellites géostationnaires. Disposer de données utiles fournies par ces différentes sources élargirait dans de fortes proportions le champ des applications de la technologie de l'observation de la

*Se reporter aux commentaires du Professeur Rathjens, page 214.

Terre. Le calendrier actuel de recherche et de développement de la NASA en matière de télédétection des ressources couvre une bonne partie de la prochaine décennie. A lui seul, le Thematic Mapper, avec son système sol et les produits de données plus élaborés qui doivent en être tirés, nécessitera sans doute plusieurs années pour faire ses preuves et être pleinement opérationnel.

Toutefois, un jour viendra où les Etats-Unis et l'ensemble du monde devront trancher la question du type de cadre international à établir pour un système de télédétection des ressources terrestres. Les quatre modèles présentés ci-après débouchent sur une série de solutions de rechange ; par souci de commodité, ils sont appelés : unilatéral, multilatéral, multinational et international. Destinés à stimuler la réflexion, ils ne doivent pas être interprétés comme s'ils épuisaient toute la gamme des possibilités.

**1. Unilatéral—système national américain** Le principle actuel d'un système national de satellites de ressources terrestres, dont l'initiative et l'exploitation relèvent exclusivement de l'autorité des Etats-Unis, pourrait être établi formellement et prolongé indéfiniment. La gestion et l'exploitation américaines satisferaient en premier lieu les besoins des utilisateurs publics et privés aux Etats-Unis, et seraient probablement compatibles avec la desserte continue de stations de réception au sol situées à l'étranger. La sanction internationale pourrait prendre la forme d'un traité ou d'une résolution édictant des directives similaires à celles qui sont actuellement à l'étude au sous-comité juridique du Comité des Nations Unies pour l'espace extra-atmosphérique. Cela suppose bien entendu qu'un accord soit réalisé sur ses termes en général et sur la question de la diffusion des données en particulier. En souscrivant formellement à un instrument juridique international de cette nature et en rendant compte périodiquement aux Nations Unies, les Etats-Unis pourraient être réputés faire droit au principe d'une responsabilité internationale. La coordination entre les parties intéressées pourrait être assurée par le biais du Groupe de travail sur l'exploitation des stations sol LANDSAT, avec participation des propriétaires des stations et, le cas échéant, des principaux utilisateurs, le groupe de travail acquérant ainsi un caractère consultatif toujours plus important, même s'il demeure officieux.

La viabilité d'un tel arrangement dépendrait dans une large mesure de l'attitude adoptée par les pays faisant appel à ce service. On peut concevoir qu'avec le temps ils en viennent à accepter les Etats-Unis comme fournisseur exclusif d'images sur les ressources du type LANDSAT. Les craintes et préoccupations envisagées plus haut pourraient s'estomper à mesure que les nations et utilisateurs étrangers acquièrent l'expérience de la technologie et que s'affirme leur confiance dans la capacité d'un service, centré en premier lieu sur les besoins nationaux des Etats-Unis, à faire face à leurs besoins sans discrimination. De plus, tant que les Etats-Unis seront disposés à supporter les dépenses de développement et une bonne part des frais d'exploitation d'un tel

système, l'existence d'une source de données unique pourra être acceptée faute de solution de rechange. Le coût élevé d'un système spatial rival faisant double emploi et qui ne serait pas facile à amortir pourrait effectivement barrer la route à la concurrence.

Mais on peut également concevoir que les réactions mondiales soient tout à fait différentes. Quand bien même les Etats-Unis adhéreraient aux dispositions d'un traité ou à des principes directeurs approuvés au niveau international, d'autres pays pourraient juger inacceptable de s'en remettre totalement à un seul pays pour un service essentiel et exercer des pressions dans le sens d'une plus grande participation.

L'éventuel refus des Etats-Unis de souscrire à un instrument juridique ou à un arrangement institutionnel souhaité par une majorité aux Nations Unies en raison de termes qu'ils jugent inacceptables pourrait déboucher sur un climat de confrontation. Les conséquences d'une politique d'action isolée seraient contraires aux intérêts élargis que les Etats-Unis souhaitent promouvoir au sein de la communauté mondiale, par exemple une approche coopérative des problèmes du globe, et dans l'utilisation du domaine commun de l'espace. D'autres nations, agissant isolément ou en consortiums, pourraient être amenées à juger suffisamment intolérable une situation de dépendance totale à l'égard d'un gouvernement américain peu sujet aux concessions pour se voir contraintes d'établir un système spatial parallèle faisant double emploi. Un tel aboutissement serait peu souhaitable à différents égards : ce serait un gaspillage de ressources financières et humaines, comme on l'a noté plus haut ; ce serait également une cause vraisemblable de conflit entre politiques et pratiques de diffusion des données ; et cela réduirait les chances d'initiatives complémentaires entre puissances spatiales travaillant en coopération*.

**2. Multilatéral—consortium** Un nombre quelconque de pays, désireux de réunir leurs moyens pour exploiter le secteur spatial d'un système de télédétection selon un principe coopératif, peuvent constituer un consortium. Ce consortium pourrait être le propriétaire de ses satellites, les louer, ou passer contrat avec un ou plusieurs pays pour le développement, le lancement et l'exploitation des satellites pour son compte. Il pourrait démarrer sous forme d'une association d'intérêts s'en remettant principalement à des pays ayant une industrie de pointe ou disposant de moyens financiers et désireux de se lancer dans une entreprise qui se mette au service de l'ensemble du monde. Il

*Cette analyse se fonde sur l'hypothèse que, par sa nature même, la télédétection des ressources terrestres exige que l'exploitation du secteur spatial soit une activité du secteur public, ou contrôlée par les gouvernements. Il est logique de supposer que les craintes et préoccupations internationales que font naître les questions d'équité, de souveraineté et de sécurité seraient multipliées si la fonction de détection était le fait d'une entreprise privée à but lucratif. Par contre, il n'est pas exclu qu'en ce qui concerne le traitement des produits de données, y compris l'analyse et la diffusion, certains pays souhaitent faire appel aux services d'entreprises privées.

permettrait également la participation initiale sous une forme à déterminer de pays non contributeurs mais consommateurs importants des produits de la télédétection. Ce schéma ne pourrait être mieux illustré que par INTELSAT, le consortium international qui exploite le système commercial de satellites de télécommunications à longue distance.

Les conditions de fonctionnement d'INTELSAT et celles qui prévaudraient pour l'exploitation d'un consortium de satellites de télédétection diffèrent à certains égards. Premièrement, chacun des pays fondateurs d'INTELSAT possédait un service national de télécommunications bien établi, connaissait ses besoins en matière de circuits internationaux et disposait d'un tarif approprié. Par contre, la télédétection des ressources n'a pas de marché établi, et la demande potentielle en produits de télédétection n'a même pas encore fait l'objet d'une estimation. Deuxièmement, le consortium de services de télécommunications publics et privés était à peu près certain qu'INTELSAT serait une entreprise bénéficiaire ; un consortium de satellites de détection des ressources n'a sans doute pas les mêmes perspectives financières, pour les raisons qui seront étudiées ci-après.

Un arrangement du type consortium peut malgré tout constituer un cadre utile et financièrement souple pour la télédétection par satellite, même en l'absence d'un marché établi et d'un rendement garanti, si les nations fondatrices sont prêtes à partager les investissements et les frais d'exploitation du système. Pai certains aspects, l'expérience d'INTELSAT est riche d'enseignements pour la télédétection. INTELSAT a vu le jour en confiant sous contrat à son membre américain, la COMSAT (société privée ayant statut de droit public), l'exploitation du système de télécommunications développé aux Etats-Unis pour son compte. De même, un consortium de télédétection pourrait passer contrat avec un ou plusiers pays disposant d'une industrie spatiale pour développer et exploiter un système en propriété collective et pour fournir ses services au consortium.

Créé en dehors du système de l'ONU par la participation volontaire de pays isolés, INTELSAT est administré par un conseil où les voix de ses membres sont pondérées en fonction des prévisions de trafic. Si le conseil d'administration a été le théâtre d'affrontements violents au sujet de politiques techniques et autres, il n'a pas souffert autant des inconvénients de la politisation que certains organes de l'ONU.

La courte histoire d'INTELSAT se caractérise par un passage progressif à l'internationalisation. L'organisation est née d'un comité international ad hoc de 20 pays utilisateurs avant de parvenir à son chiffre actuel de 91 pays membres. A mesure que l'organisation se développait et que les pourcentages du trafic par pays évoluaient, la situation du participant américain, la COMSAT, s'est transformée : d'associé majoritaire, il est devenu le principal associé minoritaire. Son rôle initial de gestion dans tous les domaines a été

réduit à celui de contractant pour les services de gestion technique et opérationnelle.

Lors de la fondation d'INTELSAT, aucun pays en dehors des Etats-Unis n'avait l'expérience de la construction et de l'exploitation de satellites de télécommunications, de sorte que la position prédominante des Etats-Unis au cours de la petite enfance et de l'adolescence d'INTELSAT a donné à ce pays la possibilité de parfaire sa technologie et de fournir une vigoureuse gestion opérationnelle. Toutefois, cette position a inspiré un certain ressentiment parmi les Etats membres et s'est trouvée profondément modifiée lorsque le premier arrangement a été renégocié pour donner naissance à la convention définitive. La solution du consortium, si elle était adoptée pour un système de télédétection des ressources, pourrait tirer parti d'un type similaire de développement en deux étapes. Toutefois, l'accord initial pourrait fort bien comporter des dispositions permettant d'exclure toute position dominante.

**3. Multinational—Type Veille météorologique mondiale** Il y a des chances que les Etats-Unis cessent avant longtemps d'être le seul pays qui se livre à la télédétection spatiale des ressources terrestres si l'intérêt manifesté par plusieurs autres pays les conduit à placer sur orbite leurs propres satellites. On a déjà mentionné l'intention de l'Agence spatiale européenne de construire un satellite équipé d'un détecteur hyperfréquences actif du type tous-temps. L'Union soviétique, le Japon, les Pays-Bas et l'Inde, entre autres pays, pourraient également développer des satellites équipés d'appareils de détection des ressources et de surveillance de l'environnement.

Plusieurs pays individuellement propriétaires et exploitants de satellites de détection des ressources et produisant des données qui se complètent et se renforcent mutuellement pourraient trouver judicieux d'adopter une formule de gestion multinationale inspirée de la Veille météorologique mondiale (VMM). La VMM, que les Etats-Unis ont proposée en 1961 aux Nations Unies et qui fonctionne actuellement sous les auspices conjoints de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Conseil international des unions scientifiques (CIUS), fournit des données météorologiques à l'ensemble du monde. Plusieurs aspects du principe de la VMM semblent adaptés à un éventuel système de détection des ressources :

- *Un organisme au service du monde.* Outre les Etats-Unis et l'URSS, qui ont des satellites météorologiques géosynchrones en exploitation, le Japon et la communauté européenne se préparent à fournir leur propre contribution au secteur spatial de la VMM, assortie de l'engagement d'échanger entre elles des informations météorologiques et de les mettre à la disposition de tous les autres pays. En 1978, les quatre parties à l'accord sur le secteur spatial auront lancé et exploiteront des satellites météorologiques géosynchrones similaires

au SMS américain qui est déjà sur l'orbite des satellites géostationnaires. Cet accord est dans la lignée d'une longue tradition d'échange d'informations dans le domaine météorologique. De plus, il témoigne du caractère global des systèmes météorologiques, lequel impose un partage des données et une coopération sur une base très étendue. Cette collaboration de puissances disposant de moyens spatiaux et le fait qu'elles fournissent gratuitement le fruit de leur technologie constituent un précédent précieux pour la télédétection des ressources.

• *Réseau de centres de données.* Le système mondial de données au sol de la VMM repose sur un réseau de quelque 8000 stations de mesure, sur des centres régionaux de données et sur 3 centres de données mondiaux. Chaque pays est responsable de son propre matériel de réception et d'enregistrement et doit alimenter avec ses informations le flot global de données. Les satellites exploités par les participants au secteur spatial sont reliés efficacement à un système sol international bien coordonné d'acquisition, de stockage, de traitement et de diffusion des données.

• *Coordination assurée par une agence internationale.* Bien que les satellites soient la propriété individuelle des entités qui les exploitent, la VMM doit sa cohésion et son efficacité à la coordination de l'OMM. Pour la télédétection des ressources, une fonction de coordination similaire pourrait être confiée aux Nations Unies ou à une nouvelle organisation créée à cette fin.

La viabilité du modèle VMM dépend toutefois de la participation volontaire, même si elle est interdépendante par nécessité, des entités propriétaires des satellites, étant donné qu'une image météorologique globale est impossible à obtenir sans une surveillance concertée par tous les satellites géosynchrones. Lorsque l'interdépendance des données n'est pas aussi contraignante, les associés du secteur spatial peuvent se sentir moins étroitement liés dans leurs obligations, et la nécessité de rendre des comptes à titre de réciprocité ou à l'égard de la collectivité internationale risque d'être affaiblie. Dans leur grande majorité, les pays bénéficiaires des investissements réalisés par les propriétaires des satellites peuvent se sentir plus dépendants ou moins impliqués qu'ils ne le seraient dans le cadre d'un système fondé sur le modèle qui précède ou sur celui qui suit.

**4. International** Un organisme international—les Nations Unies ou une entité ayant approximativement les mêmes membres—pourrait acheter un système de satellites à un pays fournisseur et s'organiser pour l'exploiter selon une des formules étudiées précédemment. Ce modèle diffère essentiellement du principe du consortium étudié plus haut par deux aspects : Premièrement, il a dès le début un plus grand nombre de membres que le consortium de départ, constitué seulement par des pays intéressés mais disposant de moyens financiers ; deuxièmement, l'organe international élargi offre la possibilité de

combiner la propriété internationale du secteur spatial à celle des stations sol et moyens auxiliaires. Une exploitation de ce type, que ce soit de l'un ou des deux secteurs, pourrait être financée selon un barème de contributions similaire à celui qui est établi pour les membres de l'ONU, ou par des contributions spéciales.

Un organisme ayant une composition quasi universelle pourrait atteindre efficacement les objectifs de participation, d'auto-détermination et de partage équitable des charges. Par contre, il pourrait être plus vulnérable aux factions politiques qu'un consortium restreint de pays ayant des opinions similaires. En conséquence, il pourrait être notamment moins enclin à rechercher énergiquement une amélioration constante de sa technologie au prix d'un vieillissement précoce de son capital investi.

## Questions posées par un système opérationnel

Les Etats-Unis considèrent que le programme LANDSAT est expérimental et la communauté internationale l'accepte comme tel. Parallèlement à certaines pressions nationales et internationales pour le transformer en un système opérationnel et assurer ainsi la continuité des données, de fortes considérations plaident pour la prolongation pendant plusieurs années de la phase expérimentale.

D'un point de vue technique, il n'y a pas de distinction tranchée entre le mode opérationnel et le mode expérimental. Si une bonne part de la technologie et nombre des recherches sur ses applications sont manifestement expérimentales, des produits de données fournis par satellite sont utilisés régulièrement pour certains objets selon un mode opérationnel limité. La distinction n'est toutefois pas sans fondement et est utile pour deux raisons. Premièrement, comme nous l'avons vu au chapitre V, la technologie de la télédétection qui est actuellement axée sur la série LANDSAT pourra s'étendre au cours de la prochaine décennie à d'autres véhicules spatiaux ayant des moyens, des fonctions et des impératifs opérationnels complémentaires. Si le premier effort de développement a porté sur la série LANDSAT, on ne saurait prendre la partie pour le tout. Deuxièmement, le passage du mode expérimental au mode opérationnel s'accompagnerait d'un certain nombre de conséquences politiques et institutionnelles, au niveau tant national qu'international, que toutes les parties en cause ne sont peut-être pas encore prêtes à assumer.

### Questions nationales aux Etats-Unis

La décision de passer à un système opérationnel exigera du gouvernement des Etats-Unis qu'il désigne une base institutionnelle permanente à cette fin.

La loi portant création de la NASA ne précise pas si cette agence peut être chargée ou non de la responsabilité d'un système opérationnel. Le Congrès des Etats-Unis pourrait trancher en allouant des fonds à la NASA à cette fin. Mais jusqu'ici, la NASA s'est abstenue de toute activité opérationnelle et s'est limitée à la recherche et au développement. Les premiers satellites qu'elle a créés pour les télécommunicatons et la météorologie ont été confiés, lorsqu'ils ont atteint le stade opérationnel, à des agences d'exploitation (COMSAT et NOAA).

Le gouvernement américain peut choisir entre plusieurs solutions viables pour la gestion d'un système de satellites de télédétection. Il peut notamment la confier à une agence d'exploitation existante, créér une nouvelle agence, ou donner à la NASA pouvoir d'accepter une fonction opérationnelle. Des propositions de loi favorables à différentes solutions ont été soumises au Congrès, mais aucune n'a passé le stade de l'examen en commission. Il n'est pas exclu que ce point soit ajourné en attendant que le Congrès soit prêt à débattre sur des questions plus étendues, portant sur l'ensemble de l'organisation et de la gestion des activités scientifiques et technologiques des Etats-Unis. Le concept d'un Conseil national des applications spatiales*, chargé d'admininistrer et de coordonner les services de satellites relatifs à la météorologie, à l'environnement, aux télécommunications, à la navigation, à la surveillance des océans et à la télédétection des ressources, pourrait alors être pris en considération.

**Questions internationales**

La décision du gouvernement américain d'établir un système opérationnel de satellites de ressources terrestres à des fins nationales amènerait rapidement au premier plan la question d'un cadre international, qui a déjà été discutée aux Nations Unies. Tant que les activités de détection des ressources ont été réputées expérimentales, l'ONU a pu borner l'attention qu'elle leur portait aux délibérations et études du Comité de l'espace extra-atmosphérique sur les principes d'un régime juridique international gouvernant la télédétection (y compris la question de la diffusion des données) et sur les éléments d'un éventuel système qui institutionnalise la participation. Le passage au mode opérationnel, synonyme d'engagement des Etats-Unis à assurer un système permanent, serait pour la communauté internationale le signal que le temps est venu de prendre des décisions sur des principes directeurs ou des arrangements internationaux.

A tout le moins, cela nécessiterait dans le domaine technique un passage des fréquences de télécommunications expérimentales aux fréquences opérationnelles attribuées par l'Union internationale des télécommunications

*Proposé par le Groupe des applications spatiales du Conseil national de la recherche dans son rapport, *Practical Applications of Space Systems*[7].

(UIT). Les stations de réception au sol seraient obligées de se rééquiper pour pouvoir travailler sur les nouvelles fréquences.

**Questions financières**

Une décision des Etats-Unis rendant opérationnel un système de satellites de télédétection mettrait en avant le problème du financement futur des activités de détection des ressources terrestres. Le programme LANDSAT a été lancé en vue de satisfaire essentiellement les besoins nationaux des Etats-Unis. Le gouvernement américain a pris en charge la totalité des dépenses de recherche et de développement, des immobilisations et des frais de fonctionnement correspondants*, ce qui a permis aux utilisateurs tant aux Etats-Unis que dans le reste du monde d'acquérir les produits de ses données à un prix correspondant seulement aux frais de reproduction.

Si un mécanisme international d'exploitation d'un système mondial de télédétection se fait jour, il faudra aborder et résoudre des questions politiques et financières complexes : Qui en supportera les immobilisations et comment seront-elles réparties ? Comment seront financées les activités permanentes de recherche et de développement nécessaires pour maintenir la technologie en mouvement ? Comment et dans quelle mesure les frais d'exploitation devront-ils être récupérés par la vente des produits ?

Il est impossible aujourd'hui de prévoir la forme que prendra un futur système de télédétection et le type de structure financière qui sera la mieux adaptée à son développement et à son fonctionnement. Il est concevable que l'amélioration constante des moyens de détection et d'analyse mène à de nouvelles applications des données qui, à leur tour, élargissent les besoins en données, et que cette spirale ascendante crée à long terme suffisamment d'occasions de vente de données fournies par satellite, accompagnées éventuellement de services d'analyse, pour assurer à l'ensemble du système son autonomie financière.

Mais il est également possible d'envisager une perspective différente. On peut postuler que la demande mondiale en produits de la détection par satellite plafonnera dans les faits, étant donné que la surface du globe est finie,

*A ce jour, les dépenses faites par les Etats-Unis dans le programme LANDSAT se montent à environ $ 250 millions, qui se ventilent comme suit : fabrication et équipement des LANDSAT 1 et 2, $ 56 millions chaque ; coût estimatif de LANDSAT C (3), $ 35 millions ; chaque lancement, $ 4-6 millions ; stations de poursuite et installations au sol, $ 50 millions ; programme d'étude sur les possibilités des deux premiers LANDSAT, $ 29 millions ; frais d'exploitation annuels des deux LANDSAT en service et de la principale station de réception, $ 8 millions ; construction et équipement du centre de données EROS de Sioux Falls (Dakota du Sud), $ 17 millions ; frais d'exploitation annuels du centre EROS, $ 10 millions.

Le budget R & D proposé par la NASA pour la détection des ressources et la surveillance se monte à $ 67,3 millions pour l'exercice fiscal 1977 et à $ 198,2 millions pour les autres applications axées sur la Terre. Les dépenses annuelles devraient être au moins de cet ordre de grandeur pendant plusieurs années à venir.

que la demande de couverture répétitive de vastes zones des terres émergées finira sans doute par se stabiliser, et que chaque scène achetée sous forme de cliché ou de bande pourra servir à une multiplicité d'objets et, peut-être au détriment de la qualité, pourra être reproduite à peu de frais en grandes quantités pour diffusion locale secondaire. Si tel devait être le cas et si le seul moyen de couvrir les dépenses doit être la vente des produits de données (c'est-à-dire les bandes, films et clichés) à un prix raisonnable, le système opérationnel ne serait pas en mesure de couvrir la totalité des frais des propriétaires de satellites, qu'il s'agisse de pays pris individuellement, d'investisseurs nationaux dans un consortium, ou d'une organisation internationale.

En tout cas, si les produits de la télédétection doivent être rendus accessibles au plus grand nombre possible d'utilisateurs à travers le monde, un organisme internationalisé de détection des ressources devra être subventionné, pendant un certain temps au moins, par les contributions ou redevances fournies par les gouvernements ou provenant d'autres sources. Les modalités de partage de cette charge dépendraient dans une large mesure de la solution choisie par la communauté internationale parmi les différentes options de gestion exposées plus haut.

**Est-il urgent d'attendre ?**

Nous avons déjà examiné les différentes forces opposées qui sont en jeu lorsqu'il s'agit de prendre la décision délicate, mode expérimental ou opérationnel, qui devra fixer le sort d'un système de détection des ressources. Il paraît utile de reprendre cette question dans une perspective temporelle afin de voir quels facteurs pèsent sur la nécessité d'aboutir rapidement à une solution de la question et quels sont les éléments qui poussent à temporiser.

Les partisans d'un passage rapide à un système opérationnel font état des raisons suivantes :

- La décision de passer au mode opérationnel représenterait pour le gouvernement des Etats-Unis l'engagement d'assurer la continuité du programme. Craignant les incertitudes de l'avenir, les principaux utilisateurs potentiels aux Etats-Unis, qu'ils soient du secteur public (au niveau fédéral ou à celui des Etats) ou du secteur privé, ont répugné jusqu'à présent à adapter leurs systèmes d'information et de décision aux données de LANDSAT.
- Un système opérationnel institutionnalisé au niveau national et international aurait de meilleurs moyens et des occasions plus nombreuses de s'adapter à la fourniture efficace de services et d'assistance aux utilisateurs, aux Etats-Unis comme à l'étranger. Il en résulterait une diffusion plus rapide des moyens et des avantages du système.
- L'accord international institutionnalisant un tel régime peut être obtenu plus facilement s'il est axé sur un seul système de satellite opérationnel,

comme le LANDSAT, et nourrirait alors une atmosphère de coopération, exempte de sentiments de dépendance tout en diminuant les risques de politisation des opinions.

- Le mécanisme international créé dans le sillage d'une décision de passer au mode opérationnel serait un ferment de coordination, de normalisation et de complémentarité parmi les futurs postulants à la télédétection des ressources ; il aurait également beaucoup de souplesse pour adapter la configuration technique de ses satellites aux spécifications reflétant les besoins particuliers de certaines régions géographiques ou catégories de pays.

Par contre, on peut citer les motifs suivants d'attendre pour passer à la phase opérationnelle :

- Il faut laisser à la technologie le temps de mûrir. Le système de détection des ressources par satellite doit connaître au cours des années qui viennent des modifications et des adjonctions profondes, aux Etats-Unis et dans d'autres pays, qui nécessitent un supplément d'expérimentation pour être validé. LANDSAT n'est que le précurseur d'une famille de satellites américains d'observation de la Terre qui se complètent mutuellement et de satellites de détection placés sur orbite par d'autres pays. Il y a encore beaucoup d'inconnues au sujet de leurs aptitudes, de leur fonctionnement et de leurs compétences pour la communauté internationale. Il serait peu sage de concevoir un système international autour d'un seul satellite en excluant les autres options.
- Des questions fondamentales comme la forme d'institutionnalisation internationale, la diffusion des données et le partage des coûts, sur lesquels des divergences d'opinion se sont nettement manifestées parmi les pays du monde, pourront être résolues avec le temps à mesure que les pays acquerront de l'expérience, la partageront et mèneront des études d'information. Cela vaut particulièrement pour la question de la diffusion des données dont l'importance décroît à mesure que les différents systèmes de collecte des données se mettent en place et que les procédures de diffusion des données s'établissent de façon pragmatique.
- Pour qu'un système opérationnel soit faisable dans un cadre international (comme celui qui s'est imposé pour les télécommunications et la météorologie), il faut qu'un nombre critique de pays candidats à une participation soit en mesure de réunir des conditions essentielles. Dans le cas d'INTELSAT, il ne manquait aux Etats membres que des stations émettrices-réceptrices pour adhérer au système et en tirer profit. Mais pour la télédétection, il faut qu'un nombre important de pays aient assimilé de façon beaucoup plus profonde la technologie avant que l'on dispose d'une base suffisante pour une gestion collective du système.

## Les incidences au niveau politique

Ayant examiné la technologie de la détection des ressources terrestres, ses implications pour le monde en voie de développement, et les questions qu'elle soulève en ce qui concerne la méthode finalement adoptée pour sa gestion, le Comité parvient aux conclusions suivantes :

- La télédétection spatiale conduit le monde au seuil d'une ère nouvelle pour la collecte des données et l'utilisation des informations sur les ressources de la Terre et son environnement naturel, et ce à un moment où évolue la perception des limites assignées à certaines de ces ressources, des dangers qui menacent divers écosystèmes, et de l'urgence de les gérer plus efficacement afin de faire face aux besoins de l'humanité.
- Bon nombre des promesses de cette technologie sont encore du domaine de l'avenir ; elles reposent non seulement sur l'introduction d'un matériel plus puissant et plus souple, mais surtout sur l'existence de praticiens apprenant à étendre toujours plus loin les applications de cette technologie. Il n'en est pas moins vrai que, pour une gamme non négligeable d'applications ayant un intérêt particulier pour les régions du monde en voie de développement, la technologie de la télédétection peut produire des bénéfices importants dès maintenant ; son utilité augmentera à mesure que les techniciens de la télédétection, les spécialistes des ressources, les aménageurs et les responsables politiques établiront un vocabulaire et une méthodologie communs et apprendront à travailler ensemble.
- Implanter les compétences, les installations et les moyens institutionnels nécessaires pour permettre aux pays en voie de développement de tirer le meilleur parti de cette technologie nécessite un effort systématique, soutenu et concerté de la part des agences internationales d'assistance et, probablement, la création de nouveaux mécanismes internationaux orientés vers ce but.
- Il existe plusieurs raisons persuasives de s'acheminer vers une forme ou une autre d'internationalisation de la détection des ressources terrestres. Organisée et gérée sous forme d'entreprise internationale en coopération, la télédétection pourrait jeter une lumière crue sur les difficiles défis que doit relever la collectivité mondiale en matière de ressources et sur le caractère nécessairement interdépendant des réponses qu'il faudra leur fournir. Les problèmes de recensement, d'utilisation et de gestion des ressources du monde, et la nécessité de maintenir à la surface de la terre un environnement propre à conserver la vie, nécessitent une action concertée d'envergure internationale. De par sa nature même, la télédétection par satellite est mondiale dans sa vision et son impact ; son caractère et ses incidences rendent impérative l'institutionalisation sur une large base des participations nationales.

• Des considérations pratiques plaident également en faveur d'une solution internationale. Les problèmes relatifs à la coordination des travaux, à la compatibilité des technologies, au partage des coûts, et à un accès équitable aux données et aux services d'analyse, ont plus de chance de pouvoir être résolus dans un cadre international. La forme à donner à un tel cadre et le moment à choisir pour son adoption nécessiteront une étude approfondie.

Se fondant sur ce qui précède, le Comité souligne l'importance de certaines initiatives et décisions politiques qui devraient contribuer à créer, le plus tôt sera le mieux, une situation favorable à l'acceptation large et "chaleureuse" de cette technologie à l'avantage des Etats-Unis et de la communauté internationale, y compris les pays en voie de développement.

**Méthode échelonnée**

Alors que les plates-formes spatiales et les détecteurs en sont encore à un stade précoce de mise au point, la communauté internationale ne saurait être mieux servie que par une poursuite énergique des activités de recherche et de développement visant à améliorer la capacité de la technologie des satellites. Il faudra plusieurs années pour expérimenter et mettre à l'épreuve des détecteurs ayant des résolutions geométrique, spectrale et temporelle différentes. De l'avis du Comité, il serait prématuré de déclarer que le secteur spatial de la télédétection est opérationnel et d'envisager de l'incorporer dans un cadre international avant qu'il existe un système dont les performances répondent de façon adéquate aux besoins des utilisateurs. En tant que prototype de l'observation de la Terre ayant la faculté de donner naissance d'ici quelques années à un ensemble de télédétection multisatellite (dans lequel les efforts des Etats-Unis pourraient être complétés par ceux de plusieurs autres puissances spatiales), la série LANDSAT ne constitue pas encore une base suffisamment évoluée sur laquelle bâtir, et partant "geler", une structure institutionnelle internationale.

Il n'y a par contre aucune raison d'appliquer ces considérations au secteur terrien. Alors que les stations de réception internationales et régionales se multiplient, et que la réception directe a des chances d'être assurée dans le monde entier d'ici quelques années, on ne peut soutenir plus longtemps que la télédétection, envisagée sous l'angle de la disponibilité de ses produits et de l'élargissement de ses applications et de son utilisation au jour le jour, demeure purement "expérimentale", ni que certaines mesures ne peuvent être utilement prises sur le plan organique.

A titre de première étape le Comité recommande

Que soit établi un mécanisme international destiné à promouvoir les consultations sur les aspects techniques et administratifs de la télédétection

entre représentants des stations de réception, des pays propriétaires de satellites, et des pays qui sont déjà des utilisateurs importants des produits de la télédétection.

Entre autres objectifs, ce mécanisme faciliterait le partage de l'expérience entre les responsables des stations ; assurerait une normalisation à l'échelle du monde des formats des produits ; constituerait un forum pour étudier des problèmes communs tels que la planification des produits, les intérêts concurrentiels dus aux chevauchements de couverture, la prise en compte des besoins des consommateurs, l'obsolescence des équipements et les frais d'installation de matériels "a posteriori" ; et fournirait aux utilisateurs un moyen de faire connaître leurs besoins au gestionnaire du secteur spatial (la NASA pour le moment).

Le mécanisme proposé pourrait, soit être dérivé du Groupe de travail sur l'exploitation des stations sol LANDSAT, patronné par la NASA, et qui existe déjà, soit être mis en place en tant qu'activité supplémentaire d'un organisme existant comme le Comité des Nations Unies sur l'espace extra-atmosphérique, soit être créé ex nihilo. En outre, le choix d'une formule appropriée devrait dépendre du fait que le mécanisme soit destiné ou non à devenir le véhicule essentiel d'un programme étendu d'assistance technique multilatérale à l'intention des pays en voie de développement. Il pourrait enfin constituer le noyau ou le point de départ du cadre institutionnel qui serait éventuellement choisi pour la gestion internationale du secteur spatial sur une base opérationnelle permanente.

En s'engageant sur cette voie, les Etats-Unis entameraient activement des consultations multilatérales avec les nations qui dépendent de son système spatial en tant que propriétaires de stations et consommateurs de données, et franchiraient une étape de transition entre leur position unilatérale actuelle et un futur régime international.

### Continuité du service

Le fait de déclarer le secteur spatial "expérimental" et d'encourager simultanément l'utilisation "opérationnelle" de ses produits entretient une ambiguïté et une incertitude défavorables dans leur principe à une expansion de la technologie. Les Etats-Unis devraient résoudre ce paradoxe en donnant l'assurance formelle que leur système expérimental assurera, sauf défaillance technique, une couverture et un service des données ininterrompus, même avant que le système soit déclaré officiellement opérationnel et que sa permanence soit garantie. Le Comité recommande

Que les Etats-Unis affirment officiellement leur intention de continuer pendant une durée déterminée à développer la technologie du secteur spatial d'un système de détection des ressources, avec pour seules réserves les

aléas du système, et de faire tout ce qui est en leur pouvoir au cours de cette phase expérimentale pour assurer la continuité de la détection spatiale et de la transmission des données aux stations et aux utilisateurs de produits en tout point du monde.

**Coopération multilatérale à l'échelon régional**

Ainsi qu'il a été dit plus haut, la partie du système de télédétection qui se prête le mieux à une action multilatérale et à un partage des coûts est le secteur sol (à savoir les stations de réception et les services annexes). Une solution régionale, dans la mesure où elle se distingue de la pratique actuelle selon laquelle un pays propriétaire de stations accepte de desservir ses voisins, encouragerait et aiderait les pays à établir, financer et exploiter en commun des stations de réception ; ce serait un premier pas en direction de l'internationalisation des activités de télédétection, et ce au niveau qui est le mieux préparé.

Cette action aurait plusieurs avantages précis :

- Les risques de duplication, de chevauchement et de conflits, ainsi que le gaspillage des ressources techniques et humaines qu'implique en puissance la prolifération des stations nationales, se trouveraient grandement diminués, sans que cela doive démentir la nécessité d'un minimum de redondance à des fins de réserve.*
- Les pays qui ne possèdent pas de stations en propre ne dépendraient pas, pour la continuité du service, d'une seule nation propriétaire de satellites, de sa capacité, de son efficacité et de son bon vouloir, sans oublier les caprices de sa politique et de son économie nationales.†
- Des formules de partage des coûts tenant compte de la situation économique relative des pays membres pourraient être élaborées plus facilement.
- Des stations régionales en coopération seraient en prise directe avec des centres de service régionaux disposant de moyens de traitement, stockage, diffusion, analyse et interprétation des données, et assurant l'assistance technique et la formation du personnel.

*En raison de la couverture de 3000 km de rayon qu'ont actuellement les stations de réception, le regroupement de pays en coopératives pour l'exploitation conjointe d'une station et de ses installations annexes peut ne pas coïncider avec une région géographique telle qu'elles sont définies traditionnellement. Un mécanisme régional multilatéral pourrait fort bien englober deux complexes de stations ou plus.

†Dans certaines zones, des problèmes politiques insolubles peuvent toutefois nécessiter le recours à d'autres arrangements pour la réception des données. Au nombre de ces arrangements pourraient figurer l'établissement d'une station pour un pays isolé, le recours à des enregistreurs de bord pour une réception des données en temps différé via une station au sol plus éloignée mais amicale, ou, dans une perspective plus lointaine, la transmission en temps réel à une station de réception américaine via le TDRSS proposé.

• Une participation active des pays en voie de développement à la création et à l'exploitation de stations régionales et de centres de service stimulerait l'intérêt des gouvernements au plus haut niveau pour cette activité et pourrait conduire de ce fait à une utilisation plus poussée des données fournies par les satellites dans les processus de planification et de décision.

• L'exploitation régionale des installations au sol pourrait renforcer la coopération des pays participants en ce qui concerne les grands problèmes de ressources et le développement économique en général pour la région.

Le Comité n'ignore pas que, les pays agissant généralement plus lentement en groupe qu'individuellement, la mise en exploitation de stations devant constituer un réseau mondial de réception directe des données peut s'accompagner de certains retards. Toutefois, les avantages importants que comportent une démarche régionale et l'établissement d'une base solide de responsabilité régionale pour un service public commun devraient, semble-t-il, peser plus lourds que ces considérations. De fait, l'intérêt que manifestent déjà l'Agence spatiale européenne et la Commission économique de l'ONU pour l'Afrique pour une poursuite des efforts sur une base régionale laisse prévoir une tendance dans ce sens. La Conférence des ministres des Etats arabes responsables de l'application de la science et de la technologie au développement, qui s'est tenue à Rabat en août 1976, a recommandé que le centre de télédétection existant actuellement en Egypte soit transformé dans un proche avenir en un centre régional pour tous les Etats arabes. Ces initiatives régionales méritent d'être soutenues et encouragées. Le Comité souscrit à l'appel du Comité de l'ONU sur l'espace extra-atmosphérique en faveur du développement régional d'installations au sol et recommande

> Que les Etats-Unis, ainsi que les autres pays et les organismes internationaux qui s'occupent de la télédétection spatiale des ressources et de l'environnement, œuvrent dans le sens de l'internationalisation sur une base régionale, chaque fois que c'est possible, des stations de réception et des services auxiliaires (notamment le traitement, l'analyse et la diffusion des données, la formation du personnel et les services consultatifs techniques), considérée comme un moyen souhaitable de conduire à une coopération et à un partage des coûts pour la gestion et l'exploitation d'un complexe au sol.*

**Plans à établir pour le secteur spatial**

Le Comité a examiné brièvement plusieurs possibilités de régimes internationaux en coopération en vue de diriger le secteur spatial d'un système de télédétection des ressources terrestres. Il l'a fait en étant convaincu que les Etats-Unis devront en temps voulu inscrire la gestion et l'exploitation de leur système de satellites de détection des ressources dans un cadre international,

*Se reporter aux commentaires du Professeur Rathjens, page 214.

ainsi qu'ils ont déjà jugé opportun de le faire pour les satellites de télécommunications et de météorologie.

Ayant cette perspective à l'esprit, le Comité invite instamment le gouvernement des Etats-Unis à peser attentivement les conséquences internationales, qu'elles soient juridiques, politiques, économiques ou techniques, de toutes dispositions définitives qu'il pourrait prendre à l'égard de l'administration d'un système de détection des ressources terrestres au plan national. Pour le Comité, considérations nationales et internationales semblent si intimement mêlées que l'établissement de plans pour la gestion future de la télédétection des ressources aux Etats-Unis devrait progresser de concert avec la mise au point d'une position américaine sur des arrangements internationaux appropriés qui en constitueraient la contre-partie.

Le Comité avait spécifiquement pour mandat d'examiner un seul aspect du problème de la détection spatiale des ressources et de l'environnement, à savoir son utilité pour les pays en voie de développement et ses implications. Il n'est pas en mesure d'exprimer ses préférences parmi les différentes solutions d'internationalisation qu'il a évoquées, sinon sa conviction que l'internationalisation, sous une forme ou sous une autre, est un objectif politique souhaitable. En conséquence, le Comité estime que le temps est venu pour les Etats-Unis d'aborder sérieusement l'étude du type de cadre international qu'ils souhaiteraient voir s'instaurer, et d'entamer des consultations officieuses avec d'autres pays semblablement motivés. La formulation en temps opportun d'objectifs nationaux américains compatibles avec de futurs arrangements internationaux aurait pour conséquence que les Etats-Unis, lorsqu'ils prendront les décisions les concernant, n'écarteront pas par inadvertance des options souhaitables pour un régime international susceptible d'être approuvé. Le Comité recommande en conséquence

Que le gouvernement des Etats-Unis prenne dès aujourd'hui un engagement public au sujet de l'établissement futur d'un régime international pour le secteur spatial de systèmes de détection des ressources ;

Que le gouvernement des Etats-Unis commence dès maintenant à étudier sa propre proposition pour un futur régime ; et

Que le gouvernement des Etats-Unis, en ce qui concerne les décisions affectant l'avenir de cette technologie au niveau national, s'engage dans une voie qui tende à faciliter son incorporation ultérieure dans un système international approuvé.

## Notes

1. National Research Council, Space Applications Board of the Assembly of Engineering, *Practical Applications of Space Systems*, 14 documents de référence (Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1975), p. 9 ; documents de référence : n° 3, p. 17 ; n° 4, pp. 16-22 ; n° 5, pp. 13-23 ; n° 6, p. 15 (dénommé ci-après NRC *Practical Applications of Space Systems*).

2. United Nations General Assembly, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, *Preliminary Study of the Organizational and Financial Requirements of a Future Operational Space Segment of an International Earth Resources Survey System: Report of the Secretariat* (A/AC 105/156), Feb 23, 1976, p. 9.
3. D.E. Pedgley, "ERTS Surveys a 500-km$^2$ Locust Breeding Site in Saudi Arabia," in *Third Earth Resources Technology Satellite Symposium The Proceedings of a Symposium Held by Goddard Space Flight Center at Washington, D C., on December 10-14, 1973*, comp. and ed Stanley C. Freden and Margare A. Becker, NASA Report, No SP-351, 3 vols. (Washington, D.C., U S. National Aeronautics and Space Administration, 1974), I-A 233-246
4. NRC, *Practical Applications of Space Systems*, p. 34.
5. United Nations General Assembly, *Feasibility Study on a Possible Co-ordinating Function of the United Nations in Future Operational Activities in Remote Sensing from Satellites Report prepared by the Secretariat* (A/AC.105/154), Jan. 9, 1976.
6. International Atomic Energy Agency, *Annual Report 1974-1975* (Vienna, 1975).
7. NRC, *Practical Applications of Space Systems*, pp. 38-42.

# VIII Proposition de programme d'assistance en télédétection

Aucun pays ne dispose aujourd'hui des installations appropriées, du personnel qualifié et des arrangements institutionnels lui permettant d'utiliser efficacement et fructueusement les données que le LANDSAT lui fournit sur ses diverses ressources. Toutefois, les pays industrialisés, qui possèdent des systèmes bien établis de collecte, d'analyse et de gestion des données sur les ressources, seront à même d'assimiler avec une relative facilité la technologie nouvelle, tant dans le domaine technique que sur le plan opérationnel, lorsqu'ils décideront de le faire. A quelques exceptions près, les pays en voie de développement n'ont pas cet atout dans leur jeu.

En raison de cette disparité de conditions, l'avènement de systèmes spatiaux d'observation des ressources et de surveillance de l'environnement pourrait, malgré leurs incidences bénéfiques potentielles sur tant de secteurs de l'effort humain, contribuer tragiquement à creuser davantage le fossé technologique qui sépare les pays industrialisés des pays en voie de développement, et accentuer encore les différences qui existent entre les pays en voie de développement eux-mêmes. Et pourtant, pendant la prochaine décennie au moins, la télédétection semble paradoxalement offrir de meilleures perspectives d'utilité et de rendement aux pays en voie de développement qu'aux pays industrialisés. L'utilisation étendue que les premiers font des données de la télédétection, même si c'est encore à un niveau sommaire, montre qu'ils ne sont pas indifférents à ses promesses.

Permettre aux pays en voie de développement qui le désirent de recueillir les bénéfices inhérents à la télédétection aussi rapidement et aussi pleinement que l'autorisent leurs capacités et leur volonté individuelle nécessitera un programme coordonné et soutenu d'assistance faisant appel aux ressources techniques et financières des organismes d'aide bilatéraux et multilatéraux. A cet égard, le Comité pense que les Etats-Unis sont destinés à assumer un leadership qu'ils doivent accepter comme la conséquence inéluctable de l'esprit d'entreprise dont ils ont témoigné en mettant au point cette technologie. Même si les Etats-Unis n'ont pas perdu de vue cette responsabilité, comme en témoignent les efforts qu'ils ont accomplis à ce jour, nous estimons qu'ils doivent avoir un intérêt particulier, des moyens exceptionnels, et une obligation spéciale de promouvoir ce transfert de technologie en direction des pays du monde en développement.

Nous l'affirmons pour plusieurs raisons. Premièrement, depuis la Seconde Guerre mondiale, les Etats-Unis ont pris l'engagement, qu'ils ont renouvelé à différentes reprises, de mettre les bienfaits de la science et de la technologie à la disposition des pays en voie de développement dans leur recherche du progrès économique et social. De plus, en qualité de signataire du traité des Nations Unies sur l'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, ils se sont engagés à utiliser l'espace "pour le bien et dans l'intérêt de l'humanité toute entière". La télédétection des ressources terrestres donne aux Etats-Unis une occasion exceptionnelle de matérialiser leurs engagements en partageant avec les pays en voie de développement un produit de leur science et de leur technologie dont les conséquences potentielles sont très étendues pour ces derniers. Toutefois, la télédétection par satellites d'observation de la Terre n'a guère de sens pour les pays qui manqueraient des moyens d'exploiter ses produits. Placer un satellite sur orbite et diffuser sans restriction les données qu'il transmet, ce n'est qu'accomplir la moitié du travail ; son autre moitié consiste à veiller à ce que ceux qui en ont besoin reçoivent la "clé" qui ouvrira la porte aux avantages de cette technologie, compte tenu des différents types et degrés de besoins. Seuls fournisseurs à l'heure actuelle de données sur les ressources terrestres provenant de l'espace, les Etats-Unis doivent considérer qu'il est de leur intérêt que cette clé soit remise à tous les pays qui souhaitent l'avoir.

Deuxièmement, en raison de leur primauté dans cette technologie, les Etats-Unis sont dans une position exceptionnelle pour lancer les activités visant à son transfert et à sa diffusion. Une forte prépondérance des compétences et de loin la plus grande partie de la recherche en cours sur les applications sont concentrées dans ce pays ; ce sont des Américains, spécialistes de la télédétection et des ressources terrestres, théoriciens, qui ont mis en avant les idées les plus fouillées et les anticipations les plus réalistes sur les remarquables possibilités de cette technologie pour la gestion et la surveillance des ressources naturelles. Mais la télédétection, en ce qui concerne ses applications, est un art en évolution et en expansion auquel les praticiens du monde entier peuvent fournir des contributions, comme cela a déjà été démontré. C'est pourquoi la diffusion de compétences fondamentales peut également produire une moisson de nouvelles techniques dont la collectivité tout entière pourra profiter.

Troisièmement, les sentiments ambivalents qui prévalent dans certains pays à l'égard de la détection des ressources terrestres : crainte que, parallèlement à ses avantages pour ceux qui sont capables de l'utiliser, apparaisse une vulnérabilité accrue, au bénéfice de tiers, parmi ceux qui n'en sont pas capables, placent les Etats-Unis en tant que novateurs technologiques devant un défi et une responsabilité inhabituels. Qu'il soit réel ou illusoire, le déséquilibre perçu au sujet des bénéfices tirés de ces informations et qui fait croître dans un pays la crainte d'être victime de tiers techniquement mieux armés (pays voisins ou

sociétés internationales ayant des visées sur ses ressources) crée un climat défavorable à la propagation de cette technologie. Il faudrait à tout le moins apaiser ces préoccupations en aidant les pays à acquérir des capacités nationales ayant un niveau suffisant pour leur donner une certaine confiance en eux-mêmes, et en particulier l'assurance que ce dont ils manquent chez eux en termes d'installations et de compétences, ils peuvent se les procurer en toute sécurité auprès de sources extérieures.

Il existe une autre motivation contraignante pour que les Etats-Unis prennent au sérieux cette responsabilité. Leur politique de diffusion sans restriction des données tirées des satellites repose sur le principe que tous les pays doivent avoir également accès à la totalité des données. Mais les pays ne sont pas également en mesure de faire rendre aux données concernant leur propre sol des informations exploitables. Pour être crédible, une politique de diffusion ouverte des données doit donc s'accompagner, à titre de corollaire indispensable, d'un engagement délibéré de rendre possible sur la base la plus large l'acquisition des moyens nécessaires*.

Tout en appelant solennellement les Etats-Unis à exercer un leadership, le Comité ne souhaite pas minimiser les contributions importantes que d'autres moyens d'aide, bilatéraux et multilatéraux, peuvent également fournir dans cet effort. La Banque mondiale, le Programme de développement des Nations Unies, les agences des Nations Unies comme la FAO, ont commencé à jalonner d'importants domaines d'initiative dans l'utilisation et la diffusion de la technologie de la télédétection ; ils méritent tous les encouragements des Etats-Unis et des autres Etats membres.

De fait, comme on l'a noté au précédent chapitre, le Comité croit qu'un système de télédétection des ressources, du fait de sa nature, de ses incidences profondes et de certaines inquiétudes qu'il évoque, nécessite une forme ou une autre d'institutionnalisation au plan international. Même si cela peut prendre un certain temps à se réaliser, un projet qui traiterait sur une base régionale ou mondiale des questions comme la coordination des activités du secteur sol, l'assistance technique et l'édification de moyens pour les utilisateurs, aurait moins de difficulté à prendre forme. Les ressources des Etats-Unis destinées au transfert de la technologie de la télédétection aux pays en voie de développement pourraient dans ce cas être engagées dans une plus grande mesure par le biais d'un tel organisme. Mais en attendant que celui-ci soit créé, une bonne partie du travail restera l'affaire des organismes américains.

*Le fait que cette proposition ait reçu un accueil favorable du Gouvernement des Etats-Unis semble ressortir du discours prononcé par le Secrétaire d'Etat, M. Kissinger, devant l'Association des avocats américains à Montréal, le 11 août 1975 : "... si nous croyons que la connaissance de la Terre et de son environnement, acquise de l'espace extra-atmosphérique, doit être largement partagée, nous reconnaissons que cela doit s'accompagner d'efforts pour que tous les pays comprennent pleinement l'importance de cette connaissance nouvelle . . .".

## Politiques d'assistance aux Etats-Unis

Le Gouvernement des Etats-Unis s'est occupé des questions de télédétection avec les pays en voie de développement par le biais de trois agences officielles : l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA), le Service géologique des Etats-Unis (USGS), et l'Agence pour le développement international (AID). Avant de passer à l'étude de l'AID, principal instrument canalisant l'assistance américaine à l'étranger, le Comité estime opportun de faire quelques observations sur les deux premiers organismes.

### La NASA

En s'assurant, pour la recherche sur les applications de la télédétection, la collaboration de scientifiques et de spécialistes des ressources à l'étranger, et en encourageant les pays étrangers à acquérir leurs propres stations de réception LANDSAT, la NASA a su répondre à la nécessité d'encourager un sentiment de participation internationale dans le développement d'une technologie ayant une importance mondiale. Elle l'a fait dans le même esprit qui a caractérisé ses autres initiatives dans l'espace : coopération scientifique et désir de stimuler à titre volontaire tous les apports scientifiques complétant ses propres efforts. Même s'il n'incombe pas à la NASA d'aider les pays en voie de développement à assimiler cette technologie, elle n'a pas tardé à comprendre que les satellites d'étude des ressources naturelles auraient un intérêt particulier pour eux.

Il semble toutefois nécessaire à l'avenir d'établir une politique qui soit encore plus à l'écoute des préoccupations du monde en général. A mesure que la NASA s'engage plus profondément dans le développement de systèmes spatiaux destinés à des applications axées sur l'étude de la Terre, ses innovations dans l'espace se feront toujours plus lourdes de conséquences pour les vies des peuples du monde entier. On attend des technologies spatiales de l'avenir qu'elles fournissent une variété croissante de services* ; ce qui, au jour des premiers pas sur la Lune, était pour l'essentiel un public de spectateurs devient un public de consommateurs, et à l'échelle du globe.

On peut y voir deux implications. Premièrement, la NASA devra porter une plus grande attention aux problèmes de transfert et de diffusion de la technologie, de telle sorte que les pays en voie de développement puissent profiter rapidement des perfectionnements qui sont importants pour eux. La NASA devra notamment travailler en liaison toujours plus étroite avec l'AID

*Voir *Outlook for Space*, rapport d'un groupe d'études à l'Administrateur de la NASA, NASA, janvier 1976. (Cf. Eléments de bibliographie.)

et les autres agences d'assistance qui ont un rôle à jouer dans ce processus. Deuxièmement, à mesure que les "consommateurs" de données de satellite se recruteront à l'échelle mondiale, la NASA devra étendre ses sondages, limités actuellement pour l'essentiel au "marché" américain, à l'ensemble des pays étrangers afin de leur permettre de faire entendre leur voix pour la définition des programmes futurs. Le Groupe de travail sur l'exploitation des stations sol LANDSAT pourrait par exemple être élargi à d'importants utilisateurs de données spatiales, à moins qu'un organisme consultatif distinct soit établi en vue de représenter les intérêts des utilisateurs internationaux.

La consultation de la clientèle internationale semblerait tout particulièrement souhaitable en ce qui concerne la configuration technique et les performances opérat onnelles des futurs systèmes d'observation de la Terre. Dans certains pays en voie de développement, l'utilisation des données des LANDSAT actuels est fortement limitée par le problème de la couverture nuageuse ; une technologie comme celle de la détection par hyperfréquences, qui résout ce problème, pourrait avoir un grand intérêt pour eux. Il conviendrait de déterminer l'importance que présente pour les pays en voie de développement une couverture directe de la surface de leurs sols par le radar à prise d'images de SEASAT A. Quant aux utilisateurs internationaux des données du MSS, et en particulier les pays ou groupements régionaux qui disposent d'installations de réception opérationnelles ou comptent en avoir, il faut organiser auprès d'eux des consultations du genre de celles qu'a tenues la NASA à la fin de 1976 à Ottawa, afin de leur faire connaître les différentes options qui peuvent être mises en œuvre pour le sous-système de transmission espace-terre du Thematic Mapper, en particulier s'il existe une éventualité de passer de la transmission directe des données de satellite à un réseau mondial de stations susceptibles d'être mis en place au moment où LANDSAT D sera en orbite.

Une question importante qu'un processus de consultations pourrait contribuer à résoudre est celle du prix à fixer pour les produits de la télédétection diffusés par les stations de réception nationales et régionales lorsqu'elles reprendront cette tâche au Centre de données EROS. Il n'est pas impossible qu'en raison de la dimension relativement faible des marchés dans le monde en voie de développement, les tarifs se situent à un niveau sensiblement plus élevé que ceux des Etats-Unis. Le principe récemment adopté par la NASA de prélever un droit d'entrée annuel de $ 200 000 auprès des stations étrangères à titre de partage des coûts mériterait donc d'être pesé attentivement. Si ce droit est répercuté sur les acheteurs sous forme d'une nouvelle majoration du prix des produits, cela pourrait fort bien décourager les utilisateurs potentiels des pays en voie de développement à acheter des produits de données auprès des stations régionales et, par conséquent, de retarder le développement des marchés. Tout en étant par ailleurs inattaquable, le principe d'un partage des coûts imposé à ce stade précoce du développement pourrait être suicidaire.

**Le Service géologique des Etats-Unis**

Préoccupé par l'approvisionnement mondial en matières premières minérales rares, le Service géologique des Etats-Unis a une longue tradition de collaboration avec ses homologues étrangers, en particulier dans les pays en voie de développement. Il s'est efforcé, ces dernières années, d'insister fortement sur l'utilisation au plan international des données de LANDSAT et est devenu pour les Etats-Unis le principal véhicule de transfert à l'étranger de la technologie de la télédétection appliquée aux sciences de la Terre. Sur ses propres fonds ou avec le soutien financier de l'AID et de la NASA, le Service géologique a organisé depuis 1971 une bonne vingtaine de séminaires et ateliers sur la télédétection en Asie, en Afrique et en Amérique latine, ainsi que des cours internationaux de formation au Centre de données EROS qu'il administre. Plus d'un millier de scientifiques et de techniciens spécialisés représentant la plupart des pays en voie de développement ont participé à ces activités. De plus, le Service géologique a fourni une assistance technique et des services de conseils en télédétection à titre onéreux ou avec des subventions de l'AID dans une douzaine de pays en voie de développement. Dans certaines régions, il fournit une aide à la corrélation des données de télédétection et des activités de cartographie existantes, notamment en Amérique latine où il est en rapport constant avec des organisations géographiques nationales sous les auspices du Service géodésique interaméricain (IAGS).

Bref, le Service géologique représente pour les Etats-Unis un important atout pour la diffusion des compétences dans le domaine de la télédétection, et les Etats-Unis devront avoir de plus en plus recours à lui, notamment pour aider les pays en voie de développement à faire face à d'énormes besoins en personnel qualifié. A cet égard, les programmes de formation devront comporter à l'avenir un enseignement plus approfondi et de plus longue durée que les activités de familiarisation de quatre ou six semaines proposées jusqu'ici.

**L'Agence pour le développement international**

Au cours des cinq années passées l'AID a subventionné un programme d'assistance aux pays en voie de développement, d'ampleur modeste, ayant pour principal objet de les habituer à l'utilisation des données de télédétection et de fournir un soutien à des projets d'application expérimentaux. L'AID a organisé et financé des symposiums et séminaires de formation ; patronné des projets expérimentaux dans des domaines comme la gestion des terrains de parcours et des eaux, la géologie, la démographie et la recherche géobotanique ; fourni des conseils à certains pays au sujet de l'utilisation intégrée de la technologie ; et commencé d'utiliser des produits de télédétection pour la formulation et l'exécution de projets de développement.

L'engagement de l'AID dans les activités de télédétection par satellite s'est fait à un niveau très prudent, reflétant les incertitudes des débuts quant à

l'efficacité technique de cette technologie nouvelle. Maintenant qu'il est possible d'évaluer de façon plus positive, même si elle reste nuancée, sa capacité, on possède une base technique pour prendre des engagements mieux fondés. Le Comité recommande en conséquence

> Que les Etats-Unis s'engagent au cours de la prochaine décennie, par le biais de l'AID et d'autres organismes multilatéraux lorsque ce sera possible, dans un effort systématique, prolongé et soutenu de transfert aux pays en voie de développement intéressés des moyens d'utiliser la technologie de télédétection spatiale.

De l'avis du Comité, les investissements consacrés par l'AID à cette fin devraient être au moins dix fois supérieurs à leur montant actuel. Partant d'un niveau bien inférieur à un million de dollars par an, cette augmentation ne semble pas irréaliste au Comité si l'on considère l'importance du programme global de l'AID (2850 millions de dollars pour l'année 1976-77) et le fait que cette technologie peut avoir des conséquences heureuses pour un si grand nombre de secteurs se prêtant à une assistance au développement. Une telle augmentation des niveaux de financement s'accompagnerait nécessairement d'une augmentation appropriée du personnel technique de l'AID chargé d'établir et de superviser le programme.

De nombreux pays en voie de développement ont indiqué qu'ils seraient heureux de bénéficier d'une assistance dans le domaine de la télédétection. Ils l'ont fait savoir en réponse à des enquêtes des Nations Unies, à l'occasion de nombreux ateliers sur la télédétection organisés aux Etats-Unis et à l'étranger au cours des dernières années, et sous forme d'un nombre croissant de demandes d'assistance auprès des organismes spécialisés.

## Proposition de programme pour l'AID

Le Comité estime que la stratégie d'un programme AID de transfert technologique dans le domaine de la télédétection devrait comporter les éléments suivants :

- Projets pilotes nationaux
- Projets de démonstration sectoriels
- Fourniture d'installations techniques
- Programmes d'information et de formation
- Projets de recherche
- Application des données de la télédétection à l'exécution de projets de développement patronnés par l'AID
- Assistance technique et financière aux centres régionaux.

**Projets pilotes nationaux**

Il faudrait organiser dans un certain nombre de pays aux caractéristiques différentes des projets visant à implanter des moyens nationaux intégrés d'analyser et d'utiliser les données de la télédétection. Le projet patronné par l'AID en Thaïlande et le projet à financement multilatéral de Bolivie sont des exemples de ce qui est proposé. Le programme AID de projets pilotes nationaux devrait viser à déterminer par l'expérience les moyens qui sont les mieux adaptés à une assistance extérieure. Compte tenu des besoins individuels et de la capacité d'absorption des pays considérés, ces projets pourraient comporter notamment les éléments suivants :

- détachement de longue durée (3 à 5 ans) d'un spécialiste de la télédétection au sens large chargé de fournir conseils et assistance à l'occasion de la mise au point d'un programme de télédétection géré par du personnel spécialisé national ;
- programmes d'information et d'instruction destinés à présenter aux administrateurs responsables des ressources, aménageurs et chefs politiques les possibilités et les limites des données de télédétection pour leur pays et dans les domaines de responsabilités de chacun ;
- programmes de formation de durée et de niveaux variés, organisés sur place et à l'extérieur au profit des responsables des ressources et spécialistes dans l'interprétation et l'analyse des données, ainsi qu'à l'intention du personnel de soutien technique ;
- soutien pour l'acquisition des installations et équipements nécessaires pour reproduire, stocker et analyser les données de télédétection ;
- conseils sur les arrangements institutionnels à prendre dans un cadre gouvernemental pour optimiser l'utilisation des données de la télédétection dans des applications multidisciplinaires et multisectorielles ;
- conseils au sujet des services de traitement et d'interprétation d'avant-garde : possibilités de les obtenir auprès de sources extérieures ou dans le contexte d'un projet de développement ;
- visites d'experts consultants au sujet des utilisations spécialisées de projets de télédétection.

Il serait d'ailleurs également possible de mettre en place un projet pilote selon les grandes lignes exposées ci-dessus pour desservir un groupe de petits pays à partir d'un seul point d'exploitation. Moyennant un équipement modeste de photo-traitement et d'interprétation et une petite équipe de spécialistes résidents et mobiles, ce genre d'installation multinationale pourrait remplir plusieurs fonctions : préparer des séminaires d'information et cours de formation de brève durée, fournir une aide en photo-interprétation ; conseiller les organismes de planification et les ministères au sujet de leurs besoins

en matière d'organisation, d'équipement et de formation ; et, d'une façon générale, servir de point central pour le transfert technologique aux pays en cause et pour assurer la liaison avec les agences internationales susceptibles de fournir une assistance supplémentaire. L'AID examine actuellement une proposition portant sur un service multinational de ce type en Afrique.

**Projets de démonstration sectoriels**

Le programme d'études mené par la NASA et une bonne part des autres travaux effectués à ce jour sur les produits de la télédétection ont été pour l'essentiel expérimentaux : mettre à l'épreuve les détecteurs des LANDSAT et les informations qui peuvent être tirées des données qu'ils fournissent. Même si les applications pratiques se multiplient actuellement dans les pays en voie de développement, il s'agit encore dans la plupart des cas d'entreprises modestes et fragmentaires, bien en deçà du niveau opérationnel. Ce dont ces pays ont besoin maintenant, c'est d'un fonds d'expérience sur l'étude de la Terre et la surveillance de l'environnement par télédétection qui fournisse une méthodologie sûre et applicable à la gestion et au développement de leurs ressources.

L'AID devrait mettre en route et subventionner une série de projets de démonstration qui suivent les données de satellite applicables à un secteur particulier des ressources depuis le stade du traitement et de l'analyse en passant par l'incorporation dans les processus de planification et de décision pour aboutir à leur mise en œuvre dans les mesures pratiques de gestion et de développement.

Parmi les secteurs que pourraient se prêter à de tels projets figurent :

- recensement des terrains sous-exploités dans les zones à forte densité démographique ;
- cartographie de l'occupation des sols aidant les aménageurs à répartir les fonds d'investissement destinés au développement agricole ou autre ;
- cartographie topographique et géologique facilitant l'implantation des réservoirs, barrages et moyens de transport ;
- surveillance des coupes dans les régions forestières ;
- recensement des établissements ruraux ne figurant pas sur les cartes ;
- levés des formations géologiques ou caractères structuraux indiquant la présence de zones propices à une prospection minière ou à la recherche d'eaux souterraines ;
- étude des régions littorales et eaux côtières afin de détecter les signes de sédimentation, d'érosion ou de pollution dans les courants nécessitant l'attention des spécialistes, ou encore les suintements naturels donnant à penser qu'une prospection pétrolière au large est conseillée.

Aménageurs et gestionnaires des ressources des pays en voie de développement sont en général mieux en mesure de savoir si la technologie s'applique à leurs propres besoins lorsqu'ils ont la possibilité de la voir à l'œuvre dans un environnement familier. L'AID devrait fournir aide et encouragement pour que des spécialistes des ressources naturelles et d'autres disciplines appartenant à des pays voisins prennent part à ces projets de démonstration.

### Matériel

De nombreux pays, peu familiarisés avec la gamme croissante de matériels nouveaux proposée pour le traitement, l'analyse, l'affichage et la reproduction des données de satellites, auront sans doute besoin d'une aide avant de prendre une décision sur leurs besoins dans ce domaine. L'AID peut, avec l'appui de la NASA, remplir ici un rôle utile en diffusant des descriptions comparatives, faisant autorité, des matériels de traitement, des dispositifs d'affichage et du logiciel, avec leurs possibilités, leurs caractéristiques techniques, leurs coûts et leur compatibilité avec les programmes nationaux existant dans le domaine de l'informatique. Une assistance pourrait également être fournie sous forme de conseils par les experts détachés par l'AID auprès des programmes pilotes ou par des spécialistes envoyés des Etats-Unis en mission spéciale en attendant que du personnel national soit formé et possède les compétences nécessaires.-

Lorsque les pays pris individuellement ou regroupés en entités régionales peuvent démontrer qu'ils ont besoin de certains équipements pour une station régionale de réception et de traitement ou pour un centre national d'analyse des données, mais ne disposent pas de devises étrangères pour procéder à un achat direct, l'AID devrait examiner si elle peut utiliser des prêts ou subventions pour faciliter les approvisionnements voulus.

### Information et formation

Les pays en voie de développement ont à long terme des besoins considérables en personnel qualifié dans le domaine de la télédétection. L'AID peut fournir ici une contribution majeure en subventionnant une série d'activités d'information et de formation à trois niveaux différents :

**1. Motivation** Dans beaucoup de pays, c'est seulement dans des cercles scientifiques et techniques limités que l'on verra appréciée à sa juste valeur la technologie de la télédétection. Mais au niveau des gouvernements, aménageurs, administrateurs et décideurs ne se sont pas suffisamment familiarisés avec cette technologie pour prendre à bon escient des décisions au sujet de son incorporation dans les programmes nationaux de gestion des ressources et de surveillance de l'environnement. De concert avec d'autres organismes

similaires, l'AID devrait continuer pendant un certain temps à financer un programme d'ateliers et de séminaires destinés à familiariser les hauts fonctionnaires et les administrateurs responsables de ressources naturelles avec les caractéristiques générales de cette technologie, ses avantages et ses limitations en ce qui concerne les différents secteurs d'application, les données existantes et leurs coûts, et les mesures de caractère organique et autre que les pays devront prendre pour utiliser à leur profit cette technologie. Dans toute la mesure du possible, cette activité devrait être poursuivie dans les pays en voie de développement ou au niveau des centres régionaux.

**2. Formation accélérée** La plupart des pays en voie de développement ont besoin d'un noyau de spécialistes des ressources naturelles suffisamment familiarisés avec le traitement des données de la télédétection pour être en mesure de conseiller leur gouvernement sur l'intérêt de cette nouvelle technologie en regard des besoins de leur pays dans les domaines considérés. C'est à l'intention des spécialistes de disciplines comme l'agriculture, la sylviculture, la géologie, l'occupation des sols, l'hydrologie et la cartographie que l'AID devrait financer l'organisation de cours accélérés de quatre mois environ qui leur fournissent des connaissances de base sur les caractéristiques et le traitement des données de la télédétection. Ces cours ne formeront pas des experts en télédétection, mais permettront aux spécialistes des ressources naturelles, agronomes, sylviculteurs, hydrologues, d'établir dans quelle mesure cette technologie est applicable à leurs disciplines respectives, de collaborer efficacement avec les techniciens de la télédétection et de commencer à utiliser ces données dans leur travail. Les cours devraient englober les matières suivantes :

- besoins des utilisateurs en information sur les ressources terrestres ;
- relations de base entre la matière et l'énergie ;
- possibilités de la télédétection dans différentes bandes du spectre électromagnétique ;
- techniques d'échantillonnage à plusieurs niveaux, et notamment techniques de vérité terrain ;
- matériel et techniques de photo-interprétation ;
- techniques de renforcement du constraste des images ;
- techniques d'extraction des données ;
- possibilités offertes à ce jour par le LANDSAT ;
- techniques visant à optimiser une action concertée entre ceux qui fournissent des informations sur les ressources terrestres et ceux qui les utilisent dans la gestion de ces ressources terrestres.

Dans ces cours, l'accent devrait être mis sur l'acquisition de connaissances de base en analyse et interprétation des données de la télédétection. Dans

toute la mesure du possible, ces cours devraient être organisés à l'intérieur des pays en voie de développement dans des institutions d'enseignement ou des centres régionaux de traitement et de diffusion des données, car ce serait la meilleure possibilité d'accroître les contacts entre spécialistes de disciplines différentes et de pays différents.

**3. Enseignement universitaire** Les pays qui s'attèlent énergiquement à l'utilisation de la télédétection et qui développent une infrastructure destinée à faire face aux besoins d'une communauté croissante d'utilisateurs auront besoin de compétences nationales de haut niveau, assorties d'une solide maîtrise des bases scientifiques et techniques qui sous-tendent toutes les catégories et tous les aspects de la télédétection, y compris leurs relations avec les différents secteurs d'application. L'AID devrait fournir une aide sous forme de possibilités d'études dans des universités américaines qui organisent des cours spécialisés dans la télédétection.

En gonflant ses activités de formation et d'enseignement au cours des prochaines années, l'AID aura à surmonter un obstacle majeur. Du fait de la nouveauté de cette technologie et de la prolifération de la demande de formation aux Etats-Unis et ailleurs, il va y avoir pénurie d'enseignants, de locaux et autres moyens matériels. Conjointement avec les institutions intéressées aux Etats-Unis ainsi qu'avec les autres agences d'assistance bilatérale et multilatérale, l'AID devrait s'efforcer d'accroître la capacité d'enseignement de haut niveau tant aux Etats-Unis que dans d'autres pays. Deux initiatives méritent d'être prises en considération à cet égard : (1) l'établissement d'un centre de télédétection dans une université des Etats-Unis afin de créer une importante capacité américaine axée sur les besoins des pays en voie de développement et donnant notamment une formation de haut niveau ; (2) une aide à des universités choisies dans des pays en voie de développement afin qu'elles fassent figurer dans leurs plans d'études des cours ou des programmes sur la télédétection en vue de satisfaire en dernier recours les besoins locaux ou régionaux de formation et d'enseignement.

**4. Publications** Le flot de rapports publiés sur les recherches en télédétection et sur d'autres études des techniques et applications de la détection atteint maintenant un volume tel que les spécialistes à plein temps eux-mêmes ne peuvent se tenir au courant. Non seulement les publications originales sont devenues inexploitables du fait de leur nombre, mais elles ne sont que partiellement accessibles aux praticiens des pays en voie de développement.

Il est de plus en plus nécessaire de présenter sous une forme condensée l'état actuel de l'expérience acquise dans le domaine des applications des données de satellites, ainsi que des progrès réalisés dans les techniques de traitement et d'analyse. En accord avec la NASA et d'autres organismes qui s'occupent de ce problème, l'AID devrait encourager la préparation de revues

bibliographiques et d'études de synthèse, non seulement pour pourvoir aux besoins de l'assistance technique, mais aussi pour être utilisées dans l'enseignement universitaire aux Etats-Unis et ailleurs.

Il existe également un besoin en ouvrages préparés spécialement, à un niveau plus général, pour mettre les aménageurs, administrateurs, gestionnaires des ressources et chefs politiques au courant de ce que la télédétection peut faire et ne peut pas faire pour la gestion des ressources naturelles et la surveillance de l'environnement. Cette documentation pourrait fournir des informations plus détaillées sur chaque secteur des applications que n'en donnent les brochures succinctes disponibles actuellement.

**Recherche**

Plusieurs secteurs de la recherche pourraient être pris en charge avec profit par l'AID dans son effort pour faire progresser l'utilisation de la technologie pour le développement et la gestion des ressources.

Les régimes tropicaux, arides ou autres, propres au monde en voie de développement, ainsi que certains besoins en données spécifiques à certaines zones, posent des problèmes d'utilisation de la télédétection qui nécessitent des études de base. L'AID a déjà mis en place un programme restreint d'octroi de subventions pour contribuer à la réalisation de projets de recherche prometteurs proposés par des chercheurs de pays en voie de développement. L'AID devrait continuer à fournir un soutien à ces recherches. Parmi les grands secteurs critiques qui méritent l'attention figurent :

- *Agriculture*—Etude des choix particuliers, et des contraintes s'y rapportant, à faire pour améliorer la prévision des rendements dans la zone tropicale humide et dans les savanes humides-sèches. Ces régions rencontrent des problèmes sans équivalent dans les latitudes moyennes.
- Dresser la carte et surveiller la vitesse de la *détérioration des sols* provoquée par la désertification, l'érosion des eaux, l'érosion éolienne, les infiltrations d'eau dans le sous-sol, la salinisation et les effondrements de terrain.
- Estimation de la *consommation d'eau* par type de culture et des bilans hydrologiques régionaux au moyen des données de LANDSAT et des satellites météorologiques pour contribuer à résoudre les problèmes de gestion des eaux.
- Prospection des *eaux souterraines* dans les zones arides ou semi-arides.
- *Terrains de parcours*—Travaux de reconnaissance pour évaluer les terres et sols destinés au développement rural, en particulier dans le cadre de programmes d'amélioration du bétail et des pâturages ; surveillance de l'état des pâturages et terrains de parcours à l'aide des données de LANDSAT et de GOES pour contribuer à leur gestion.

• *Santé publique*—Identification des terrains de reproduction des insectes vecteurs de maladies en vue de l'éradication de la végétation qui leur sert de réservoir ; études de l'occupation des sols pour contribuer aux projets de réaménagement.

Une utilisation optimale des données sur les ressources et l'environnement aux fins du développement nécessiterait un travail en liaison étroite entre les spécialistes des ressources et les aménageurs physiques d'une part, et les planificateurs économiques de l'autre, liaison qui est à l'heure actuellement rarement établie (ainsi qu'on l'a évoqué au Chapitre II). Pour faire progresser les techniques de planification du développement en fonction des ressources existantes, l'AID pourrait envisager de subventionner un projet de recherche qui viserait à formuler un cadre cohérent et intégré d'analyse permettant aux aménageurs d'étudier simultanément des problèmes de planification sociale, économique, géographique, et de planification des ressources. Un tel projet devrait faire intervenir un groupe interdisciplinaire d'aménageurs spécialistes des problèmes physiques et économiques, porter sur une région ou un pays spécifiques, et être limité dans le temps à environ trois à cinq ans. En l'absence d'un tel cadre, permettant d'intégrer des informations sur les ressources aux données de planification économiques prédominantes, le potentiel qu'offre la télédétection à la planification du développement national ne donnera pratiquement pas de fruits, même si les conditions techniques préalables ont été réunies et si les données pertinentes sont disponibles.

Les données sur les ressources et l'environnement sont généralement recueillies par de nombreux organismes différents et emmagasinées en différents endroits sous une grande variété de formats. Les responsables de l'aménagement et des ressources ont alors beaucoup de difficultés à combiner et analyser d'une façon logique les données de caractères physique, naturel, social et autres provenant d'un grand nombre de sources mais portant sur un seul domaine ou thème. La présentation sous forme numérique des images de la télédétection peut également constituer un grand pas en avant en servant de base et de moyen d'intégration pour les données provenant d'autres sources. Des techniques de cartographie synthétique sur calculateur, en cours de développement, permettront le stockage, la ressaisie et l'affichage de données provenant de sources multiples. L'AID devrait patronner l'application expérimentale de ces nouvelles techniques dans quelques pays en voie de développement afin d'établir leur bien-fondé et de voir si elles méritent un supplément de recherche.

### Utilisation de la télédétection dans des projets patronnés par l'AID

Les agences internationales d'assistance au développement se mettent progressivement à utiliser les produits de la télédétection pour le lancement, la

planification et la supervision de projets. Les bureaux régionaux de l'AID et ses missions dans les pays étrangers devraient être familiarisés avec cette technologie et ses possibilités pour les priorités de leurs programmes. L'utilisation des données de la télédétection pour concevoir et mettre en œuvre des projets patronnés par l'AID peut constituer un moyen important de renforcer le potentiel de télédétection d'un pays qui en est bénéficiaire tout en rendant plus efficace pour l'AID le développement et la gestion des projets.

#### Assistance aux centres régionaux de télédétection

Les centres régionaux de télédétection pourraient faire progresser bon nombre des objectifs qui viennent d'être étudiés, et ce sous un patronage multilatéral. Le principe des centres régionaux a été défini par des études menées aux Nations Unies et ailleurs, a fait l'objet d'études détaillées dans les commissions économiques régionales des Nations Unies pour l'Asie et l'Afrique, et a reçu l'approbation des ministères scientifiques des Etats arabes responsables du développement.

Des centres régionaux, associés aux installations de réception et de traitement des données, pourraient fournir une large gamme de services :

- stockage et ressaisie de données régionales de télédétection
- installations de visualisation des images pour faciliter le tri des images recherchées
- installations de reproduction pour matériaux numériques et photographiques
- assistance en matière d'interprétation et d'analyse pour les utilisateurs manquant de compétences et d'installations propres
- diffusion des produits des données de télédétection
- formation au moyen de séminaires, de cours accélérés et d'instruction sur les lieux de travail à l'intention des spécialistes de la détection, des gestionnaires des ressources, et autres.

Chaque fois que des conditions favorables sont réunies pour l'établissement de centres régionaux, l'AID devrait contribuer à leur création conjointement avec d'autres agences bilatérales et multilatérales. Le caractère multilatéral de l'assistance financière, la mise en commun régionale des ressources et le simple fait des économies d'échelle font que cette méthode mérite tout particulièrement d'être essayée.

### Coordination des activités d'assistance

En plus des Etats-Unis et d'autres organismes bilatéraux d'assistance, plusieurs agences des Nations Unies et organisations multilatérales d'assistance,

auxquelles les Etats-Unis contribuent pour une part importante, ont commencé d'utiliser les données de la télédétection pour leurs projets, de fournir des crédits d'assistance technique à des projets de télédétection, et de fournir des services de traitement, d'analyse et d'interprétation.

L'assistance en matière de télédétection a commencé de parvenir par une multiplicité de canaux à un nombre croissant de pays et, dans certains cas, à une nuée d'organismes dans chacun d'eux. En général, cette assistance est fournie dans le contexte d'un projet axé sur un secteur déterminé et par le biais du ministère ou du département responsable de ce secteur. Cette méthode risque de ne pas mettre en lumière l'intérêt que représente le caractère intégrateur, multidisciplinaire et universel des données de la télédétection et peut laisser échapper des possibilités d'édifier dans le pays bénéficiaire une solide base institutionnelle. Les agences d'assistance et pays bénéficiaires trouveront de leur intérêt commun de coordonner leurs activités de télédétection pour faire en sorte que leurs efforts soient complémentaires et servent à doter les pays intéressés d'un mécanisme permanent et institutionalisé capable d'appliquer les données de la télédétection à leurs besoins. L'AID devrait prendre l'initiative et inspirer des mesures de coordination de ce genre parmi les agences d'assistance tout en encourageant les pays bénéficiaires à structurer les activités de télédétection dans le sens indiqué.

Des institutions au niveau régional ou international, s'occupant de télédétection, pourraient servir de rouages pour une action concertée de transfert technologique. Si de telles institutions voient le jour, les programmes et les ressources de l'assistance technique pour la télédétection pourraient dans une large mesure passer par leur entremise.

# Deux avis divergents

## Télédétection et équité

IRMA ADELMAN, Professeur d'économie, Université du Maryland

### Introduction

Le présent avis divergent a pour objet de mettre en lumière un point controversé des discussions du Comité qui est passé sous silence dans le présent rapport, à l'exception d'une allusion dans l'avant-propos.

J'ai la ferme conviction que les efforts entrepris pour évaluer les effets possibles d'une technologie nouvelle sur des pays en voie de développement doivent tenir compte dans toute la mesure du possible des incidences potentielles de cette technologie sur les populations les plus pauvres de ces pays. L'historique du progrès technologique ne donne pas un bilan favorable en matière d'équité et, au vu de ce bilan et de mes propres analyses, je crains fort que l'exploitation des ressources minières par la télédétection et les autres avantages nationaux de cette technologie aient pour effet, pendant plusieurs générations au moins, de rendre les pauvres des pays en voie de développement encore plus pauvres, et ce au sens absolu et non seulement relatif. C'est seulement si des mesures concrètes sont prises pour inverser ce processus à tous les niveaux de l'application de cette technologie nouvelle aux pays en voie de développement qu'apparaîtra une probabilité raisonnable que la technologie de la télédétection se révèle un bienfait pour les plus pauvres ou, à tout le moins, soit neutre dans ses effets.

### Abondance en ressources naturelles

Il y a tout lieu d'être préoccupé par les incidences potentielles de la télédétection sur l'équité à l'intérieur des nations et entre elles. La technologie de la télédétection rend plus probables et moins coûteuses la découverte et la localisation exactes des gisements minéraux. Or, l'exploitation des ressources naturelles a eu dans le passé une incidence majeure sur la répartition des revenus à l'intérieur des pays et entre eux.

Historiquement, les pays qui ont été colonisés et soumis à une exploitation économique intense l'ont été avant tout en raison de l'abondance de leurs ressources naturelles. (Les pays ayant de maigres ressources minières n'ont pas été jugés dignes d'être colonisés.) Les informations sur les gisements ont un grand intérêt économique, mais seulement pour ceux qui disposent de l'argent et du savoir-faire nécessaires pour exploiter ces informations. Etant donné que ces moyens financiers et ces connaissances technologiques sont concentrés, pour chaque type de ressources naturelles, entre les mains d'un petit nombre de sociétés multinationales ayant leur siège dans des pays industrialisés, ce sont elles et non la masse des habitants de ces pays qui ont été dans le passé les principaux bénéficiaires de ces découvertes. Les gouvernements des pays en voie de développement sont devenus plus conscients de ce problème et ont appris à négocier des accords assortis de redevances d'exploitation dans des conditions plus intéressantes que dans le passé. Mais même lorsqu'un pays tire des revenus importants de ces redevances, les bénéfices de ces revenus tendent à se concentrer au profit de quelques-uns au lieu de bénéficier aux masses appauvries dans les pays en voie de développement.

Une étude systématique des facteurs ayant une influence sur la répartition des revenus dans 43 pays sous-développés pour la précédente décennie (Adelman-Morris, 1973) a montré que, parmi les 48 facteurs économiques et non économiques dont l'effet sur la répartition des revenus a été examiné, l'abondance en ressources naturelles est l'une des caractéristiques les plus importantes. On s'est aperçu que la part moyenne du revenu national qui échoit aux 60 % des foyers les plus pauvres est, en moyenne, de 30 % (8 points en pourcentage) *inférieure* dans les pays riches en ressources naturelles à ce qu'elle est dans les pays pauvres en ressources naturelles. Inversement, la part moyenne du PNB qui échoit aux 55 % des foyers les plus riches est de 42 % (ou 10 points en pourcentage) supérieure dans les pays riches en ressources naturelles que dans ceux qui ne le sont pas. Dans les pays riches en ressources naturelles, la situation économique des pauvres est pire en termes absolus comme en termes relatifs : le revenu moyen par tête des 60 % de foyers les plus pauvres y est d'environ 15 % inférieur à celui des pays pauvres en ressources naturelles.*

Cette relation défavorable entre répartition du revenu et abondance en ressources naturelles s'explique facilement. L'abondance des ressources naturelles a permis aux élites qui en bénéficient de parvenir à un haut niveau de vie avec un schéma de développement dualiste, à base très étroite. Dans les pays moins généreusement dotés en ressources naturelles, la stratégie du développement a dû porter sur une base élargie de ressources industrielles et

*$ 41 par tête, par an, dans les pays riches en ressources naturelles, contre $ 48 dans les pays pauvres en ressources naturelles.

humaines ; il en découle que, dans les pays pauvres en ressources naturelles, les bienfaits du développement ont été répartis un peu plus largement, avec des retombées un peu plus sensibles sur les pauvres. En principe, un fonds alimenté par les redevances produites par les ressources naturelles qui serait correctement géré devrait dégager un surplus que les pays pourraient consacrer à des programmes et des stratégies de développement au bénéfice des plus pauvres. Mais l'expérience du passé n'est guère encourageante à cet égard.

Les informations sur les ressources naturelles ont également des incidences sur la répartition des revenus entre générations. L'exploitation de ressources naturelles tend à s'accompagner de modifications des schémas d'utilisation des terres, d'effets néfastes sur l'environnement, et de transformations de la qualité des sols qui sont pour une grande part irréversibles. Les effets de l'exploitation minière à ciel ouvert sur le paysage des Appalaches donnent un bon exemple du coût qu'ont à payer les générations suivantes pour les bénéfices tirés par les générations antérieures de l'exploitation de ressources naturelles menée sans souci de l'environnement.

En bref, sauf si des dispositions très strictes sauvegardant les intérêts des pauvres sont imposées aux utilisateurs potentiels des données sur les ressources naturelles obtenues par la télédétection, l'expérience du passé suggère que l'incidence économique sur les pauvres des générations actuelles et sur tous les membres des futures générations a toute chance d'être négative. Il est peu probable que de telles dispositions puissent être imposées, sauf par les gouvernements socialement les plus engagés, puisque le résultat des prospections de ressources naturelles tend à bénéficier aux élites actuelles des pays en voie de développement, tant en valeur relative qu'en valeur absolue, et que de telles contraintes peuvent rendre non profitable l'exploitation des ressources naturelles.

### Evolution de la technologie

Les implications à court terme des utilisations de la télédétection qui s'accompagnent de modifications technologiques (projets d'irrigation, nouveaux schémas de cultures, etc.) laissent également entendre qu'il faut être extrêmement prudent lors de la conception de projets pour que ces derniers ne se fassent pas au détriment des plus pauvres.

L'expérience des principales étapes de l'évolution technologique dans le passé conduit à faire des généralisations assez sombres. On s'est aperçu par exemple que la Révolution verte, au Pendjab comme au Mexique, a rendu moins équitable la répartition des revenus, a créé de graves difficultés en matière de régime foncier, a débouché sur des remembrements et des évictions de métayers et de fermiers, et a augmenté le nombre des paysans sans terres entièrement dépendants d'un emploi salarié.

L'examen des incidences des changements qui sont intervenus au milieu du dix-neuvième siècle dans la technologie et le degré de commercialisation dans 23 pays mène à des conclusions également décourageantes (Adelman-Morris, 1976). Pendant la première moitié du dix-neuvième siècle, la prolifération des techniques de mécanisation et l'extension des marchés dans l'agriculture a presque invariablement accru la pauvreté des couches les plus pauvres de la société. (Dans certains pays, l'aggravation de la situation des plus pauvres a coïncidé paradoxalement avec une augmentation des salaires moyens.) L'importance de cet appauvrissement a été fonction de la nature et de la force de deux processus associés aux changements de structures : premièrement, le processus de remplacement d'une série d'activités économiques par une autre à la suite de la monétisation ou de l'évolution technologique ; et deuxièmement, le processus d'expansion lié à l'introduction de nouvelles activités économiques. L'incidence du changement de structures dépendait de la balance nette des deux processus. Au cours de la première moitié du dix-neuvième siècle, la balance nette des processus de déplacement et de réabsorption liés à l'industrialisation et à la commercialisation a été systématiquement défavorable aux couches les plus pauvres de la societé. Même lorsque les niveaux de vie moyens augmentaient (comme ce fut le cas en Angleterre entre 1800 et 1850), les niveaux de vie des plus pauvres se détérioraient. Les pauvres ont bénéficié en fin de compte de l'expansion économique associée à la révolution industrielle. Mais ces bénéfices ne sont apparus que plus de 50 ans (soit deux générations) après le démarrage du processus d'évolution technique.

Certains signes du schéma de croissance des pays actuellement sous-développés montrent que l'expérience du dix-neuvième siècle se répète.

### Conclusions et recommandations en ce qui concerne l'équité

L'AID a reçu du Congrès mandat d'organiser ses programmes d'assistance dans les pays en voie de développement en vue d'en faire bénéficier les populations pauvres des nations pauvres. Il ressort clairement de ce qui précède que l'application de la technologie de la télédétection au développement économique des pays les moins développés ne devrait pas, selon toute vraisemblabilité, avoir des résultats qui soient compatibles avec le mandat de l'AID. C'est seulement si des mesures spécifiques sont prises de façon consciente et déterminée pour faire en sorte que les bénéfices de la télédétection atteignent les éléments les plus pauvres de ces populations que le objectifs du Congrès pourront être atteints.

Il serait à la fois déraisonnable et irréalisable de mettre fin à l'application de la technologie de la télédétection aux pays en voie de développement. Toutefois, des dispositions institutionnelles ou autres devraient être prises

pour qu'une part significative de ces bénéfices revienne à ceux qui en ont le plus besoin.

Je crois pour ma part que l'assistance des Etats-Unis aux nations les plus défavorisées, dans le domaine de la télédétection tout comme d'autres technologies, doit être accordée à la condition que la mise au point et la réalisation des programmes garantissent qu'une partie importante des bénéfices de la technologie soit transmise effectivement et au moment opportun aux 60 % les plus pauvres de leurs populations.

## Bibliographie

Irma Adelman and Cynthia Taft Morris, 1973, *Economic Growth and Social Equity in Developing Countries* (Stanford University Press).

Irma Adelman and Cynthia Taft Morris, 1976, "Growth and Impoverishment in the Mid-19th Century," *Economic Development and Cultural Change* (à paraître).

## Trois points de désaccord

GEORGE RATHJENS, Professeur de sciences politiques, Institut de Technologie du Massachusetts (MIT)

Je dois faire des réserves sur trois points traités dans le rapport : l'importance du soutien fourni par l'AID à la télédétection dans les pays en voie de développement ; la position prise à l'égard de l'acroissement du nombre des stations terriennes ; et l'accent mis sur les centres régionaux.

### Soutien de l'AID à la télédétection

Eu égard à l'avis plutôt favorable du Comité sur les bénéfices potentiels de la télédétection, je crois justifié de recommander un soutien suffisant pour que les agences d'assistance (AID ou autres) et les organismes gouvernementaux des pays en voie de développement disposent d'une base raisonnablement solide pour comparer l'intérêt de cette technologie avec les autres solutions faisant appel à des ressources équivalentes. Mais, comme le Comité *n'a pas fait* d'analyses comparatives de cette nature, je ne peux m'associer aux recommandations relatives à des subventions de l'AID pour l'établissement de *capacités opérationnelles* ou, pour demeurer dans une ligne plus générale et utiliser les termes du rapport, les dépenses qui ont pour objectif "un transfert de technologie" aux pays en voie de développement ou "son assimilation" par ces pays. Dans la pratique, il sera peut-être difficile de faire la démarcation entre le soutien de capacités opérationnelles et la fourniture d'informations suffisantes pour que d'autres instances, ayant des responsabilités plus étendues que le Comité, soient en position de décider sur des priorités dans l'affectation de ressources limitées. Il peut même se révéler nécessaire de subventionner certains projets de démonstration dans le cadre d'un effort d'enseignement, mais je m'arrêterai avant la recommandation du Comité sur des points tels qu'un programme étendu pour la fourniture de matériels et de personnel de formation. Dans ce dernier cas par exemple, je suis en mesure d'appuyer une recommandation pour des programmes "d'information générale" (voir page 145), mais non pour la "formation en profondeur" (voir page 146). La décision de financer ce genre de programme dans un pays donné ne doit être prise qu'*après* avoir établi s'il sera plus favorable aux intérêts de ce pays de faire des investissements dans la télédétection que dans d'autres activités ne bénéficiant pas d'un financement suffisant.

### Le secteur terrien

Le soutien apporté par le Comité à l'extension du réseau de stations de réception au sol n'est pas justifié à mes yeux pour les raisons suivantes :

1. Il est vraisemblable que l'on peut réaliser des enregistreurs à bande fiables, embarqués sur satellite, moyennant un coût bien inférieur à celui de la construction d'un grand nombre de stations au sol. C'est pourquoi un système fondé sur l'enregistrement des informations et leur restitution ultérieure en direction des stations déjà en exploitation peut être préférable à l'établissement d'un certain nombre de stations supplémentaires.

2. Il faut tenir compte de la solution du TDRSS. Si nous allons effectivement de l'avant avec ce système, il sera possible de se passer de stations terriennes supplémentaires (ou d'enregistreurs). On objectera sans doute que le coût de la transmission des données d'une station réceptrice américaine aux pays utilisateurs pourra être élevé. Cela est sans doute vrai si de grandes quantités de données sont transmises par INTELSAT ou autres moyens électroniques. Par contre, c'est sans doute inexact si l'on achemine par ces moyens *uniquement* les données dont on a besoin en temps quasi réel, le reste (voire l'ensemble des données) voyageant par avion.

3. Avec l'évolution de la technologie, le matériel des stations de réception risque de se démoder rapidement, et même l'implantation des stations peut être inadéquate. Je pense en particulier aux impératifs de transmission des données qui peuvent être fortement accrus avec le Thematic Mapper; si le satellite transportant ce détecteur travaille à basse altitude, n'importe quel réseau de stations mis au point pour les satellites actuels se révélera sans doute inadapté.

4. En cas de redondance, soit parce qu'il y aura des chevauchements entre un grand nombre de stations, soit du fait de l'existence d'enregistreurs à bande ou d'un TDRSS, certaines stations terriennes auront bien du mal à rentrer dans leurs frais. Il est improbable par exemple que les stations installées en Afrique pourront fournir des services à un coût compétitif avec ceux des stations américaines. Cela revient à dire que les exploitants de ces stations subiront de grosses pertes ou devront être subventionnés.

On a fait observer qu'il est souhaitable d'avoir un grand nombre de stations terriennes en raison des préoccupations éventuelles de certains pays au sujet des garanties de service si la totalité des données passe par des stations réceptrices américaines. C'est peut-être vrai, mais pour autant que ce soit le cas, la situation ne sera guère améliorée tant que les satellites seront placés sous le contrôle d'un seul pays. Lorsque viendra le temps d'internationaliser les satellites, il ne devrait pas être particulièrement difficile d'en faire autant pour un nombre restreint de stations terriennes.

Au vu de ces considérations, il me semble qu'avant d'approuver l'augmentation du nombre des stations terriennes, il faudrait procéder à une analyse approfondie des coûts comparatifs de la réception des données pour les trois solutions suivantes : un grand nombre de stations terriennes, un enregistrement sur bande avec lecture différée, et le recours au TDRSS. Une

telle analyse ne constituera peut-être pas une base suffisante pour une décision rationnelle, mais j'estime qu'il est nécessaire de la faire.

**Centres régionaux**

Je ne puis me rallier aux conclusions du rapport approuvant sans réserve la création de centres régionaux pour le traitement des données et la formation du personnel, ainsi que de stations terriennes régionales. Je viens de faire certaines objections au sujet de ces dernières. Mais je dois également énoncer des réserves de caractère plus général et qui valent pour la régionalisation sous toutes ses formes.

1. Les fonctions que peuvent remplir des centres régionaux pourraient être mieux exécutées dans un nombre très limité de centres internationaux localisés à des endroits particulièrement intéressants. Les économies d'échelle, un meilleur accès aux technologies d'avant-garde, et éventuellement un plus grand pouvoir d'attraction pour les étudiants, les techniciens et les experts, font suggérer qu'il pourrait en être ainsi.

2. Il peut exister un avantage dans le regroupement sur une base linguistique pour la formation des spécialistes, en envoyant par exemple les ressortissants de l'Afrique francophone en France et ceux des pays de langue anglaise aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne ou au Canada.

3. En règle générale, les plus graves litiges entre nations apparaissent entre pays de la même région, en fait entre ceux qui ont des frontières communes. C'est pourquoi une coopération sur une base régionale risque d'être extrêmement difficile. Même si une telle coopération peut servir à diminuer des tensions, il n'est aucunement évident qu'il en sera ainsi. Et même si c'est le cas, il n'est pas certain que cet avantage serait suffisant pour compenser les complications qui apparaissent lorsque l'on fait travailler ensemble des ressortissants de pays hostiles qui doivent se faire mutuellement confiance à propos de questions aussi importantes que la fourniture et l'interprétation de données. Cet argument devient particulièrement douteux lorsque ces services peuvent être fournis au choix par des institutions nationales ou internationales mais non régionales.

Je ne nie pas que les centres régionaux puissent présenter certains avantages en diminuant les frais de transport et du fait que des pays géographiquement voisins peuvent avoir des problèmes similaires à résoudre en matière de détection et d'analyse des données.

Ayant tous ces éléments à l'esprit, je ne suis pas opposé par principe aux institutions régionales, mais je ne peux approuver la place de choix qui leur est faite en l'absence d'un examen attentif de leurs avantages et de leurs inconvénients comparativement à ceux des autres solutions.

## Glossaire des sigles

| | |
|---|---|
| AIEA | Agence internationale de l'énergie atomique |
| CCT | Computer Compatible Tape–Bande compatible avec un traitement sur calculateur |
| COMSAT | Communications Satellite Corporation, Washington, D.C. |
| CORSPERS | Committee on Remote Sensing Programs for Earth Resource Surveys, Commission on Natural Resources, National Research Council–Comité sur les programmes de télédétection pour l'étude des ressources terrestres, Commission des ressources naturelles, Conseil national de la recherche |
| DCS | Data Collection System–Système de collecte de données |
| EARTHSAT | Earth Satellite Corporation, Washington, D.C. |
| ERIM | Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Mich. |
| EROS | Earth Resources Observation Systems–Systèmes d'observation des ressources terrestres (Centre de traitement des données de Sioux Falls, Dakota du Sud), USGS, Ministère de l'intérieur |
| ERTS | Earth Resources Technology Satellite–Satellite technologique d'étude des ressources terrestres (rebaptisé LANDSAT) |
| GOES | Geostationary Operating Environmental Satellite–Satellite géostationnaire opérationnel d'étude de l'environnement |
| GSFC | Goddard Space Flight Center, NASA, Greenbelt, Md. |
| HCMM | Heat Capacity Mapping Mission Satellite–Satellite pour missions de cartographie de la capacité calorifique |
| HDDT | High Density Digital Tape–Bande numérique haute densité |
| IDAT | Interactive Data Analysis Terminal–Terminal interactif d'analyse de données |
| INTELSAT | International Telecommunications Satellite Organization |
| IR | Infrarouge |
| LACIE | Large Area Crop Inventory Experiment–Inventaire expérimental des cultures sur de grandes surfaces |
| MSS | Multispectral Scanner–Analyseur à balayage multibande |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NOAA | National Oceanographic and Atmospheric Administration |
| OMM | Organisation météorologique mondiale |
| PIXEL | Picture element–Elément d'image |
| RBV | Return Beam Vidicon–Vidicon à faisceau de retour |
| SEOS | Synchronous Earth Observation Satellite–Satellite synchrone d'observation de la Terre |
| SMS | Synchronous Meteorological Satellite–Satellite météorologique synchrone |

| | |
|---|---|
| TDRSS | Tracking and Data Relay Satellite System–Système de satellite de poursuite et de relais des données |
| USAID | U.S. Agency for International Development–Agence des Etats-Unis pour le développement international |
| USDA | U.S. Department of Agriculture–Ministère de l'agriculture des Etats-Unis |
| USGS | U.S. Geological Survey–Service géologique des Etats-Unis (Ministère de l'intérieur) |
| VMM | Veille météorologique mondiale |
| WVTR | Wideband Video Tape Recorder–Enregistreur sur bande vidéo bande large |

## Eléments de bibliographie

American Society of Photogrammetry. 1973. *Management and Utilization of Remote Sensing Data: Proceedings of a Symposium Held at Sioux Falls, South Dakota, October 29-November 1,1973.* Publiés sous la direction de Abraham Anson. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry.

. 1960. *Manual of Photo Interpretation.* Publié sous la direction de Robert N. Colwell. Washington, D.C. American Society of Photogrammetry.

_____. 1975. *Manual of Remote Sensing.* Publié sous la direction de Robert G. Reeves, *et al.* Falls Church, Virginia American Society of Photogrammetry.

_____. 1975 *Proceedings of the 41st Annual Meeting.* Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry.

Brown, Seyom; Fabian, Larry L., Corwell, Nina W., and Weiss, Edith Brown. (en préparation). *Regimes for the Ocean, Outer-Space and the Weather: Toward International Accountability in the Nonterrestrial Realms (NTRs).* Washington, D.C.: The Brookings Institution

Earth Satellite Corporation 1974 *Remote Sensing Applications to Resource Management Problems in the Sahel* (Preparé pour l'U.S. Agency for International Development Washington, D C Earth Satellite Corporation.

Earth Satellite Corporation and Booz-Allen Applied Research Corporation. 1974. *Earth Resources Survey Benefit-Cost Study Economic, Environmental, and Social Costs and Benefits of Future Earth Resources Survey Systems.* Préparé pour l'U.S. Department of the Interior/Geological Survey. 12 vols Washington, D.C.: Earth Satellite Corporation and Booz-Allen Applied Research Corporation.

ECON, Incorporated 1974 *The Economic Value of Remote Sensing by Satellite: An ERTS Overview and the Value of Continuity of Service* (Préparé pour la National Aeronautics and Space Administration. 13 vols Princeton, N J.: ECON, Incorporated.

_____ 1976. *United States Benefits of Improved Worldwide Wheat Crop Information from a LANDSAT System.* Préparé pour la National Aeronautics and Space Administration. Rev ed. Princeton, N.J. ECON, Incorporated.

Environmental Research Institute of Michigan 1975. *Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, October 6-10, 1975, University of Michigan* 2 vols Ann Arbor, Michigan Environmental Research Institute of Michigan (Voir également Actes des symposiums précédents (n° 1-9, 1962-1972) tenus sous le patronage de l'Université du Michigan, Institute of Science and Technology.)

General Electric Space Division 1975 *ERTS Reference Manual* Valley Forge, Pennsylvania General Electric Space Division.

_____. 1975. *Total Earth Resources System for the Shuttle Era.* Valley Forge, Pennsylvania General Electric Space Division.

Hood, Valerie A. 1975. *A Global Satellite Observation System for Earth Resources: Problems and Prospects, a Report to the National Science Foundation on the Application of International Regulatory Techniques to Scientific/Technical Problems.* Washington, D C . American Society of International Law.

International Astronautical Federation, Committee on Application Satellites, Working Group One. 1974. *Ground Systems for Receiving, Analyzing and Disseminating Earth Resources Satellite Data.* Paris: International Astronautical Federation.

International Bank for Reconstruction and Development. 1976. *LANDSAT Index Atlas of the Developing Countries of the World.* Washington, D.C.: International Bank for Reconstruction and Development.

Lowe, D.S ; Summers, R.A , and Greenblat, E.J. 1974 *An Economic Evaluation of the Utility of ERTS Data for Developing Countries* Préparé pour l'U.S. Agency for International Development, Office of Science and Technology. Ann Arbor, Michigan; Environmental Research Institute of Michigan.

Moore, Gregory E. 1975. "Earth Resource Satellites, a Puzzle for the United Nations." *Harvard International Law Review* 16(3).648-656.

National Research Council, Agricultural Board, Committee on Remote Sensing for Agricultural Purposes. 1970. *Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

_____, Commission on Natural Resources, Committee on Remote Sensing Programs for Earth Resource Surveys. 1974. *Remote Sensing for Resource and Environmental Surveys: A Progress Review*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

_____, _____, _____, 1976. *Resource and Environmental Surveys from Space with the Thematic Mapper in the 1980s*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

_____, Space Applications Board of the Assembly of Engineering. 1975. *Practical Applications of Space Systems*. 14 supporting papers. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

United Nations. 1976. *Feasibility Study on a Possible Coordinating Function of the United Nations in Future Operations Activities in Remote Sensing from Satellites: Report Prepared by the Secretariat* (A/AC.105/154). New York: United Nations.

_____. 1975. *Implementation Requirements for an International Centre (Under United Nations Auspices) for Storage and Dissemination of Earth Resources Satellite and Related Data: Report by the Secretariat* (A/AC.105/140). New York: United Nations.

_____. 1976. *Information Concerning Existing or Planned National or Regional Ground Stations for Direct Reception of Remote Sensing Data from Satellites* (A/AC.105/155). New York: United Nations.

_____. 1976. *Preliminary Study of the Organizational and Financial Requirements of a Future Operational Space Segment of an International Earth Resources Survey System: Report of the Secretariat* (A/AC.105/156). New York: United Nations.

_____. 1976. *User Needs for Satellite Remote Sensing Data: Report by the Secretary-General* (A/AC.105/157). New York: United Nations.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs. 1970. *Natural Resources of Developing Countries: Investigation, Development and Rational Utilization: Report of the Advisory Committee on the Application of Science and Technology to Development* (E/4608/Rev. 1 ST/ECA/122). New York. United Nations.

United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. 1976. *Remote Sensing and Satellite Surveying: Report of the ESCAP Mission*. Préparé par S. A. Hempenius ; F.C. d'Audretsch and Jacub Rais. Bangkok, Thailand: United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific.

United Nations Economic Commission for Africa. 1976. *Remote Sensing in Africa: Report of an ECA Technical Mission on Remote Sensing to the United Republic of Tanzania, Kenya, Zaire, the Upper Volta and Egypt, February-March 1976*. Addis Ababa, Ethiopia: United Nations Economic Commission for Africa.

United Nations General Assembly. 1976. *Coordination of Outer Space Activities Within the United Nations System Report of the Secretary-General* (A/AC.105/166). New York: United Nations.

_____, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. 1976. *Actual and Predicted Costs and Benefits Involved in the Practical Application of Remote Sensing Technology: Report of the Secretariat* (A/AC.105/153). New York: United Nations.

_____, _____. 1975. *Summary of Studies on Cost Effectiveness in Remote Sensing: Report by the Secretariat* (A/AC.105/139). New York: United Nations.

U.S. Congress, House, Committee on Science and Astronautics. 1974. *Earth Resources Survey System*. Hearings on H.R. 14978 and H.R. 15781, 93rd Congress, 2nd Session.

_____, _____, _____. 1972. *Remote Sensing of Earth Resources*. Panel on Science and Technology, 13th meeting, 92nd Congress, 2nd Session.

U.S. Congress, Senate, Committee on Aeronautical and Space Sciences. 1974. *Earth Resources Satellites*. Hearings on S. 2350 and S. 3484, 93rd Congress, 2nd Session.

_____, _____, _____. 1976. *NASA Authorization for Fiscal Year 1977*. Hearings on S. 2864, 94th Congress, 2nd Session, 3 vols.

U.S. Geological Survey. 1976. *ERTS-1, A New Window on Our Planet* U.S. Geological Survey Professional Paper, 929. Reston, Virginia: U.S Geological Survey.

U.S. National Aeronautics and Space Administration. 1976. *A Forecast of Space Technology, 1980-2000*. NASA Report, No. SP-387. Washington, D.C.: U.S. National Aeronautics and Space Administration.

_____. 1976. *Outlook for Space: Report to the NASA Administrator by the Outlook for Space Study Group*. NASA Report, No. SP-386. Washington, D.C.: U.S. National Aeronautics and Space Administration.

_____. 1975 *Proceedings of the NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston, Texas, June 9-12, Held at NASA Lyndon B. Johnson Space Center*. 3 vols. (Vol. 1 en 4 livres séparés). Houston, Texas: U.S. National Aeronautics and Space Administration.

_____. 1974. *Third Earth Resources Technology Satellite Symposium: The Proceedings of a Symposium Held by Goddard Space Flight Center at Washington, D.C., on December 10-14, 1973*. Compiled and Edited by Stanley C. Freden and Margaret A. Becker. NASA Report, No. SP-351. 3 vols. Washington, D.C.: U.S. National Aeronautics and Space Administration.

## Conseil de la science et de la technologie pour le développement international (BOSTID)

DAVID PIMENTEL, Professor, Department of Entomology and Section of Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, *Chairman*

### Members

GEORGE S. HAMMOND, Foreign Secretary, National Academy of Sciences

RUTH ADAMS, American Academy of Arts and Sciences, Boston, Massachusetts

EDWARD S. AYENSU, Director, Department of Botany, Smithsonian Institution, Washington, D.C.

DWIGHT S. BROTHERS, International Agricultural Development Service, The Rockefeller Foundation, New York, New York

GEORGE BUGLIARELLO, President, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, New York

CHARLES DENNISON, Former Vice President, International Minerals and Chemicals Corporation, New York, New York

WILLIAM A.W. KREBS, Vice President, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts

BREWSTER DENNY, Dean, Graduate School of Public Affairs, University of Washington, Seattle, Washington

FREDERICK T. MOORE, Economic Advisor, International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C.

JOSEPH PETTIT, President, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia

JOSEPH B. PLATT, President, Claremont University Center, Claremont, California

ROBERT M. WALKER, McDonnell Professor of Physics, Director, Laboratory of Space Physics, Washington University, St. Louis, Missouri

### Staff

VICTOR RABINOWITCH, Director

MICHAEL G.C. McDONALD DOW, Deputy Director, *Head, Overseas Programs*

JULIEN ENGEL, Deputy Director, *Head, Special Studies*

**CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE POUR LE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (BOSTID)**
COMMISSION DES RELATIONS INTERNATIONALES
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES–NATIONAL RESEARCH COUNCIL
2101 Constitution Avenue, N.W., Washington, D.C. 20418, U.S.A.

## Etudes consultatives et Rapports spéciaux

Les rapports publiés par le BOSTID sont financés dans la plupart des cas par l'U.S. AID (Agence pour le développement international) ; ils sont destinés à être diffusés gratuitement dans les pays en voie de développement. Des exemplaires en nombre limité sont réservés, à titre gracieux, aux Etats-Unis et dans d'autres pays industrialisés, aux membres de services gouvernementaux, d'établissements d'enseignement ou d'organismes de recherche qui s'intéressent professionnellement aux sujets traités dans ces rapports. Sauf indication contraire, les rapports sont publiés en anglais.

Il est possible d'obtenir un exemplaire gratuit des rapports publiés dont la liste figure ci-dessous, jusqu'à épuisement du stock, par simple demande sur papier à l'en-tête de l'organisme dont vous dépendez, addressée au BOSTID. Les autres lecteurs intéressés peuvent se les procurer, moyennant le prix indiqué, en s'adressant au Service national de l'information technique (NTIS) dont l'adresse est donnée ci-après.

5. **The Role of U.S. Engineering Schools in Development Assistance.** 1976. 30 pp. Examine les possibilités et les contraintes des écoles de génie civil dans la mobilisation de leurs ressources pour aider les pays en développement. NTIS Accession No. PB 262-055. $4,50.

7. **U.S. International Firms and R, D & E in Developing Countries.** 1973. 92 pp. Examine les buts et les intérêts d'entreprises internationales et de pays hôtes en développement et suggère d'atténuer les différences en demandant aux entreprises de faire un effort continu pour renforcer les capacités de recherche, de développement et d'ingénierie. NTIS Accession No PB 222-787. $6,00.

8. **Ferrocement: Applications in Developing Countries.** 1973. 89 pp. Evalue la situation actuelle et mentionne des applications d'un intérêt particulier pour les pays en développement–construction de navires, bâtiment, installations de stockage des aliments et de l'eau. NTIS Accession No. PB 220-825. $6,50.

14. **More Water for Arid Lands: Promising Technologies and Research Opportunities.** 1974. 153 pp. Définit des technologies peu connues mais prometteuses pour l'adduction et la conservation de l'eau dans les régions arides. NTIS Accession No. PB 239-472. $8,00. (Version française disponible auprès de l'Office of Science & Technology, Development Support Bureau, Agency for International Development, Washington, D.C. 20523, ou par l'intermédiaire du NTIS, Accession No. PB 274-612, $8,00.)

16. **Underexploited Tropical Plants with Promising Economic Value.** 1975. 187 pp. Décrit 36 plantes tropicales peu connues qui, grâce à la recherche, pourraient devenir d'importantes cultures vivrières et de rapport dans l'avenir. Comprend des céréales, des racines et des légumineuses, des légumes, des fruits, des graines oléagineuses, des plantes fourragères et autres. NTIS Accession No. PB 251-656, $9,00.

17. **The Winged Bean: A High Protein Crop for the Tropics.** 1975. 43 pp. Décrit un légume tropical négligé de l'Asie du Sud-est et de la Papouasie Nouvelle-Guinée qui semble offrir une arme pour combattre la malnutrition à l'échelle mondiale. NTIS Accession No. PB 243-442, $4,50.

18. **Energy for Rural Development: Renewable Resources and Alternative Technologies for Developing Countries.** 1976. 305 pp. Examine les techniques énergétiques d'une capacité d'alimentation de 10 à 100 kilowatts au niveau du village ou de la zone rurale en fonction de leur disponibilité à court terme et à moyen terme. Identifie les efforts spécifiques de développement et de recherche requis pour rendre des applications à moyen terme possibles dans des régions qui offrent des promesses viables. NTIS Accession No. PB 260-606, $11,75. (Version française disponible auprès de l'Office of Energy,

Development Support Bureau, Agency for International Development, Washington, D.C. 20523.)

**19. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes.** 1977. 131 pp. Examine comme l'homme peut profiter par le contrôle de la fermentation anaérobie des matières organiques, et les techniques d'utilisation du méthane produit comme combustible. NTIS Accession No. PB 276-469, $7,25.

**21. Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries.** 1976. 175 pp. Décrit diverses manières d'utiliser les herbes aquatiques pour le pacage. Soulève la possibilité de les récolter puis de les tranformer en fumier, aliments pour animaux, pâte à papier, papier et combustible. Décrit également leur utilisation pour le traitement des eaux noires et des eaux résiduaires industrielles. Etudie certaines plantes se prêtant à l'aquaculture. NTIS Accession No. PB 265-161, $9,00.

**22. Guayule: An Alternative Source of Natural Rubber.** 1977. 80 pp. Décrit un buisson peu connu qui pousse à l'état sauvage dans certains déserts de l'Amérique du Nord et fournit un caoutchouc quasiment identique à celui de l'hévéa. Recommande que des fonds soient affectés à l'exploitation du guayule. NTIS Accession No. PB 264-170, $6,00.

**23. Resource Sensing from Space: Prospects for Developing Countries.** 1977. 203 pp. (Version française disponible auprès du BOSTID ou de l'Office of Science & Technology, Development Support Bureau, Agency for International Development, Washington, D.C. 20523.)

**26. Leucaena: Promising Forage and Tree Crop for the Tropics.** 1977. 118 pp. Décrit la *Leucaena leucocephala*, plante mexicaine peu connue dont les variétés buissonneuses, à croissance vigoureuse, donnent un fourrage nutritif et des engrais organiques, et les variétés arborescentes fournissent du bois d'œuvre, du bois à brûler et de la pulpe à papier. Cette plante est également précieuse pour remettre en végétation les versants de collines, établir des coupe-feux, ombrager et embellir les villes. NTIS Accession No. PB 268-124, $7,25.

**29. Postharvest Food Losses in Developing Countries.** 1978. 202 pp. Examine les possibilités et les limites des efforts visant à la diminution des pertes en ressources alimentaires; résume l'information disponible et les travaux en cours concernant les principales cultures et les ressources piscicoles; discute les principaux facteurs économiques et sociaux en jeu; identifie les principaux besoins et recommande certaines politiques et programmes pour les pays en voie de développement et les organismes d'assistance technique. NTIS Accession No. PB 290-421, $9,25.

**30. U.S. Science and Technology for Development: Contributions to the UN Conference.** 1978. 226 pp. Constitue pour le Département d'Etat un document de base pour la contribution nationale des Etats-Unis à la Conférence des Nations Unies de 1979 sur la science et la technologie pour le développement. Contient, à la suite d'une présentation générale, cinq chapitres de fond : 1) industrialisation ; 2) santé, nutrition et démographie ; 3) production alimentaire, climat, sols et eaux ; 4) énergie, ressources naturelles et environnement ; et 5) urbanisation, moyens de transport et communications.

## Publications apparentées

D'autres rapports (élaborés en collaboration avec le BOSTID) peuvent être obtenus en écrivant à l'adresse mentionnée plus haut. Ce sont :

**An International Centre for Manatee Research.** 1975. 34 pp. Décrit l'emploi du lamantin, grand mammifère pratiquement disparu, pour éliminer les herbes aquatiques des canaux. Propose la création d'un laboratoire de recherche pour mettre au point la reproduction et l'élevage du lamantin. Publié par le Conseil national de la recherche scientifique de Guyane. NTIS Accession No. PB 240-244. $4,50.

**Natural Products for Sri Lanka's Future.** 1975. 53 pp. Rapport d'une conférence-atelier avec le Conseil national de la science de Sri-Lanka. Recense des produits végétaux peu courants et négligés qui peuvent contribuer dans une mesure significative au développement économique du pays. Publié par le Conseil national de la science de Sri-Lanka. NTIS Accession No. PB 251-520, $5,25

**Workshop on Solar Energy for the Villages of Tanzania.** 1978. 167 pp. Rapport de la

conférence-atelier avec le Conseil national tanzanien de la recherche scientifique, Dar es Salaam, Tanzanie. Fait le point sur le niveau actuel des connaissances dans le domaine des petites installations d'énergie solaire, et suggère des projets à courte et à longue échéance pour utilisation dans les villages. Publié par le Conseil national tanzanien de la recherche scientifique. NTIS Accession No. PB 282-941, $9,00.

## Publications épuisées

Les rapports ci-après du BOSTID ne peuvent être obtenus qu'en s'adressant au Service national de l'information technique (NTIS). Pour passer une commande, envoyez le titre du rapport, le numéro d'accession NTIS et le montant indiqué. (Note : les prix en vigueur sont les même pour la fin de 1977 mais peuvent être modifiés sans avis préalable). Les intéressés peuvent payer par compte de dépôt NTIS, chèque, virement postal ou carte de crédit American Express. Les commandes passées aux Etats-Unis sans paiement préalable sont facturées dans les 15 jours ; une commission de cinq (5) dollars est ajoutée au prix. Pour les acheteurs étrangers, les prix sont le double des prix indiqués ci-dessous et les commandes doivent comporter la montant total de l'achat. Envoyer les commandes à :

National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161, U.S.A.

1. **East Pakistan Land and Water Development as Related to Agriculture.** Janvier 1971. 67 pp. Examine le programme d'action envisagé par la Banque mondiale dans le domaine de l'exploitation des eaux et des terres. NTIS Accession No. PB 203-328. $5,25.

2. **The International Development Institute.** Juillet 1971. 57 pp. Fait sien le concept d'un nouvel organisme d'assistance technique à base scientifique qui remplacerait l'AID. Examine la nature, les objectifs et les fonctions de cet organisme. NTIS Accession No. PB 203-331. $5,25.

3. **Solar Energy in Developing Countries: Perspectives and Prospects.** Mars 1972. 49 pp. Evalue la situation actuelle, identifie les domaines prometteurs de la recherche et du développement et propose la création d'un institut régional de recherche énergétique pour le monde en développement. NTIS Accession No. PB 208-550. $5,25.

4. **Scientific and Technical Information for Developing Countries.** Avril 1972. 80 pp. Examine le problème de l'accès du monde en développement aux sources d'informations scientifiques et techniques, donne la raison d'être de l'assistance dans ce domaine et propose des programmes destinés à renforcer l'infrastructure d'informations et à promouvoir le transfert d'informations. NTIS Accession No. PB 210-107. $6,00.

6. **Research Management and Technical Entrepreneurship: A U.S. Role in Improving Skills in Developing Countries.** 1973. 40 pp. Recommande l'exécution d'un programme systématique et indique les éléments prioritaires. NTIS Accession No. PB 225-129. $4,50.

9. **Mosquito Control: Some Perspectives for Developing Countries.** 1973. 63 pp. Examine les techniques de lutte biologique susceptibles de remplacer les insecticides classiques ; évalue l'état des connaissances et le potentiel de recherche de plusieurs approches. NTIS Accession No. PB 224-749. $6,00.

10. **Food Science in Developing Countries: A Selection of Unsolved Problems.** 1974. 81 pp. Décrit 42 problèmes techniques non résolus et donne des informations de base, des méthodes possibles pour les résoudre et les sources d'information. NTIS Accession No. PB 235-410. $6,00.

11. **Aquatic Weed Management: Some Perspectives for Guyana.** 1973. 44 pp Rapport d'une conférence-atelier avec le Conseil national de la recherche scientifique de la Guyane. Décrit de nouvelles méthodes de lutte contre les herbes aquatiques qui se prêtent bien aux pays en développement tropicaux. NTIS Accession No. PB 228-660. $5,25.

12. **Roofing in Developing Countries: Research for New Technologies.** 1974. 74 pp. Souligne la nécessité de procéder à des recherches sur des toits à bon marché, en particulier au moyen des matériaux disponibles dans les pays en développement. NTIS Accession No. PB 234-503. $6,00.

**13. Meeting the Challenge of Industrialization: A Feasibility Study for an International Industrialization Institute.** 1973. 133 pp. Avance le concept de la création d'un institut de recherche indépendant et interdisciplinaire pour éclaircir les nouvelles options de politique que comportent tous les pays. NTIS Accession No. PB 228-348. $7,25.

**15. International Development Programs of the Office of the Foreign Secretary,** by Harrison Brown and Theresa Tellez. 1973. 68 pp. Historique et analyse, 1963-1972 ; donne une liste du personnel, des participants et des publications. NTIS Accession No. PB 230-543. $5,25.

**20. Systems Analysis and Operations Research: A Tool for Policy and Program Planning for Developing Countries.** 1976. 98 pp. Examine l'utilité et les limitations de la méthode SA/OR (analyse méthodologique et recherche opérationnelle) susceptible d'être appliquée dans un pays en développement ainsi que les moyens d'acquérir les aptitudes autochtones. NTIS Accession No. PB 251-639, $6,50.

**24. Appropriate Technologies for Developing Countries.** 1977. 140 pp. Examine divers critères de bien-fondé en insistant sur les complexités et les contraintes inhérentes à un choix technologique. Disponible auprès du bureau des publications, National Academy of Sciences, 2101 Constitution Ave., N.W., Washington, D.C. 20418, contre payment de $6,25.

Autres rapports épuisés (préparés en collaboration avec le BOSTID) qu'il est possible de se procurer auprès du service national de l'information technique (NTIS) :

**Products from Jojoba: A Promising New Crop for Arid Lands.** 1975. 30 pp. Décrit la composition chimique de l'huile extraite du *Simmondsia chinensis*, taillis du désert de l'Amérique du Nord. NTIS Accession No. PB 253-126. $4,50.

**Aquatic Weed Management: Some Prospects for the Sudan and the Nile Basin.** 1975. 57 pp. Rapport d'une conférence-atelier de 1975 avec le Conseil national du Soudan pour la recherche. Suggère des méthodes modernes et innovatrices pour l'exploitation de la hyacinthe d'eau. Publié par le Conseil national pour la recherche–Conseil de la recherche agricole du Soudan. NTIS Accession No. PB 259-990. $5,25.

**Ferrocement, a Versatile Construction Material: Its increasing use in Asia.** 1976. 106 pp. Rapport de la conférence-atelier avec l'Institut asiatique de technologie, Bangkok, Thaïlande. Etudie les applications de la technique du ferrociment en Asie et dans les îles du Pacifique. Comprend la construction de silos de céréales, de réservoirs d'eau, de toits et de bateaux. Publié par l'Institut asiatique de technologie. NTIS Accession No. PB 261-818, $6,50.

**International Consultation on Ipil-Ipil Research.** 1978. 172 pp. Rapport de la conférence patronnée avec le Conseil philippin pour la recherche sur l'agriculture et les ressources naturelles, Los Baños, Laguna, Philippines. Contient des documents de référence et les rapports résumés des réunions sur l'ipil-ipil (*Leucaena spp.*). (Ouvrage complémentaire du rapport n° 26 ci-dessus.) NTIS Accession No. PB 280-161. $8,00.

## Rapports en préparation (Titres provisoires)

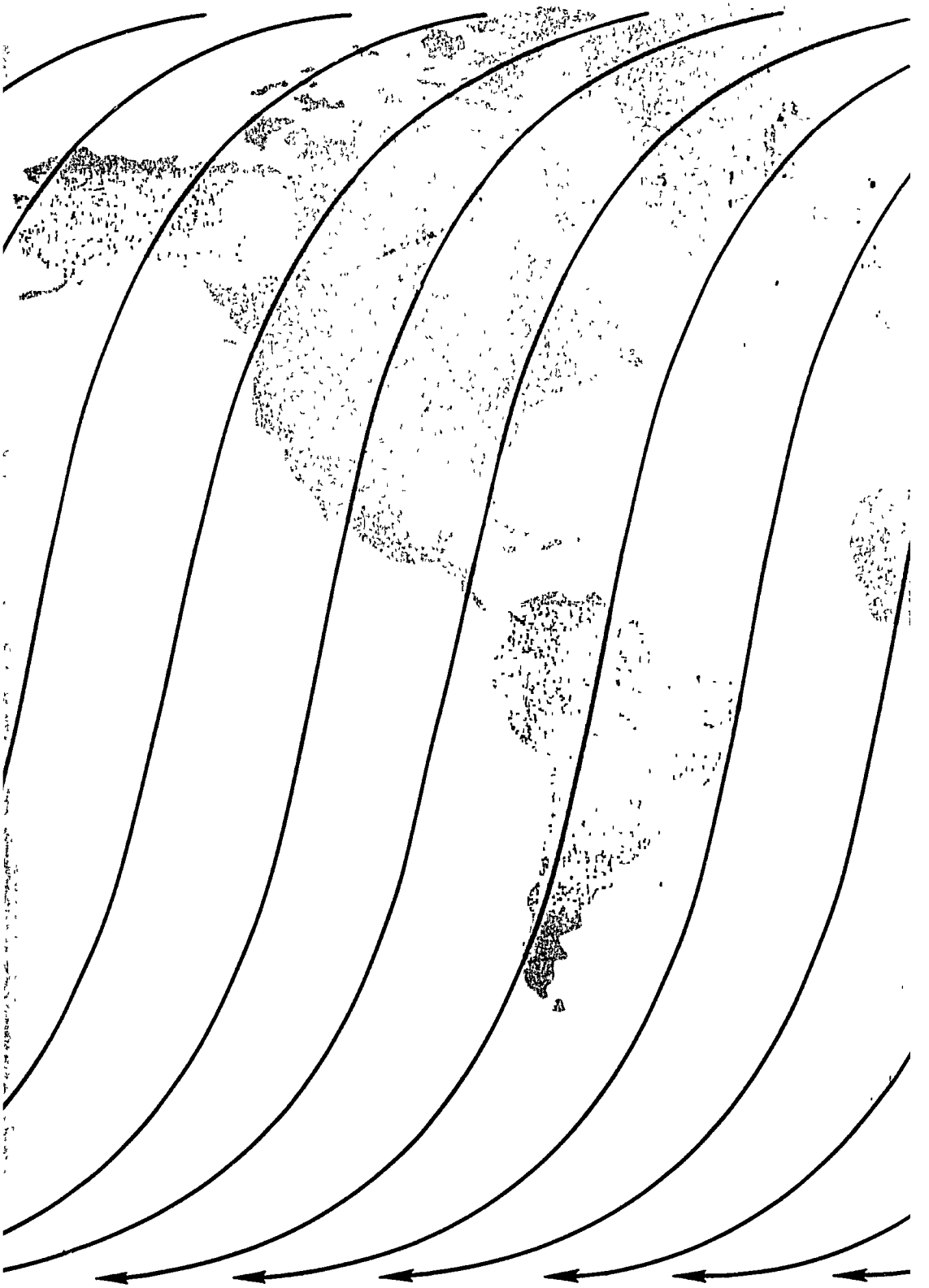
Le BOSTID satisfera les demandes d'exemplaire unique des rapports en préparation quand ceux-ci paraîtront.

25. Tropical Legumes: Resources for the Future.
27. Firewood Crops: Shrub and Tree Species for Energy Production.
28. Microbial Processes: Promising Technologies for Developing Countries.

**BON DE COMMANDE**

*Un exemplaire de* L'espace et les ressources terrestres : perspectives de la télédétection pour les pays en voie de développement *sera envoyé gracieusement, dans les limites du stock disponible, aux membres de services gouvernementaux, d'etablissements d'enseignement ou d'organismes de recherche qui en feront la demande sur papier à l'en-tête de l'organisme dont ils dépendent ou en utilisant le formulaire ci-dessous. Prière d'indiquer sur les étiquettes les noms, qualités et adresses des destinataires ainsi que les organismes dont ils relèvent et qui souhaiteraient recevoir le présent rapport.*

*Adresser ce formulaire à :*

Commission on International Relations (JH 215)
National Academy of Sciences-National Research Council
2101 Constitution Avenue
Washington, D.C. 20418, USA

| | |
|---|---|
| 23F | 2 |
| 23F | 2 |
| 23F | 2 |