

1034306-1034310

**LANDSAT
FOR MONITORING
THE CHANGING
GEOGRAPHY
OF CANADA**

**UTILISATION
DE LANDSAT
POUR OBSERVER
LES CHANGEMENTS
GÉOGRAPHIQUES
DU CANADA**

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une
numérisation par balayage
de la publication originale.

Canada 



COPY



LANDSAT FOR MONITORING THE CHANGING
GEOGRAPHY OF CANADA

UTILISATION DE LANDSAT POUR
OBSERVER LES CHANGEMENTS
GEOGRAPHIQUES DU CANADA

M.D. Thompson, Intera Environmental Consultants Ltd.
Editor/Editeur

P.J. Howarth, McMaster University
R.A. Ryerson, CCRS/CCT
F.J. Bonn, Université de Sherbrooke
Senior Author-Editors/Auteurs et éditeurs senior

A Special Report for COSPAR by
The Geography Working Group, Canadian
Advisory Committee on Remote Sensing

Un rapport spécial présenté à COSPAR par le
groupe de travail en géographie, du Comité
consultatif canadien de la télédétection

Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), Energy Mines and Resources
Centre canadien de la télédétection, Énergie, Mines et Ressources

May 1982

INTRODUCTION

....1 1034306

LANDSAT FOR MONITORING HYDROLOGIC AND COASTAL CHANGE IN CANADA
SURVEILLANCE DES CHANGEMENTS SURVENANT AU RESEAU HYDROLOGIQUE ET AUX
ZONES LITTORALES DU CANADA AU MOYEN DE LANDSAT

....7 1034307

LANDSAT FOR MONITORING AGRICULTURAL INTENSIFICATION AND URBANIZATION
IN CANADA
UTILISATION DU SATELLITE LANDSAT POUR LE CONTROLE DE L'INTENSIFICATION
AGRICOLE ET DE L'URBANISATION AU CANADA

...41 1034308

THE USE OF LANDSAT IN MONITORING RESOURCE DEVELOPMENT IN CANADA
L'UTILISATION DE LANDSAT DANS LA SURVEILLANCE DU DEVELOPPEMENT DES
RESSOURCES AU CANADA

... 65 1034308

CONCLUSION

... 77 } 1034310

REFERENCES

...81

INTRODUCTION

It is now a decade since Landsat I was launched. Thus it seems appropriate to review the use of Landsat data for monitoring environmental change in Canada. The Canadian situation is one to which the use of Landsat data for inventory and monitoring of resources is well suited. The large area of the country (over 5,000 km north to south, and east to west) and concentration of the population within about 200 km of the southern border mean that resources must be monitored over vast regions which are largely uninhabited and inaccessible. As Townshend (1977) noted for remote sensing monitoring systems in general, Landsat data provide rapid, synoptic coverage of large, often inaccessible areas and they allow historical reference and flexibility in data analysis. These qualities are most pertinent to the Canadian situation. Thus, over the past decade, there has been significant, nation-wide scientific interest in the application of this data source which records basic information on a repetitive basis.

To date, the approach to the use of Landsat data in Canada has been well-coordinated. Government interest in and commitment to the use of Landsat data formally began in 1968. It was consolidated in 1971 with the formation of the Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) and the signing of a memorandum of understanding (MOU) with the United States National Aeronautics and Space Administration (NASA) to allow direct transmission of Landsat (then ERTS) data to a Canadian ground receiving station (Clough, 1972). The CCRS mandate has been to provide a central facility for remote sensing (airborne and satellite) data and technology production, distribution, and quality control, and for program planning and evaluation (Clough, 1972; Strome, 1975).

Research and development on new remote sensors, systems and applications have since been carried out in-house at CCRS and through contracts to industry and universities (Morley, 1975). Through subsidized programs, many of which have reached cost-recovery status or have been transferred to industry, the CCRS has promoted the use of Landsat and airborne remote sensing data for a wide variety of applications throughout the country.

Also instrumental in the coordination of the National Remote Sensing Program and in the diffusion of information and data use

L'année 1982 marque le dixième anniversaire du lancement de Landsat I, il semble opportun de faire une rétrospective des divers usages qui ont été faits des données Landsat pour observer les changements dans l'environnement au Canada. De par sa situation, le territoire canadien se prête bien à l'utilisation de données Landsat pour inventorier et observer les ressources. Etant donné l'énorme superficie du pays (plus de 5 000 km du nord au sud et d'est en ouest) et la concentration de la population dans les 200 km au nord de la frontière internationale, les ressources doivent être observées sur de vastes régions dont beaucoup sont inhabitées et inaccessibles. Ainsi que Townshend (1977) l'a souligné pour les systèmes d'observation par télédétection en général, les données Landsat offrent une couverture rapide et synoptique de régions vastes et souvent inaccessibles, rendant possible l'établissement de références historiques et conférant plus de souplesse à l'analyse des données. Or, ces qualités sont particulièrement importantes pour la situation canadienne. Ainsi, depuis dix ans, on observe un vif intérêt de la part des scientifiques du pays tout entier pour l'application de cette source de données, capable d'enregistrer des informations fondamentales de façon répétitive.

Jusqu'à maintenant, l'utilisation des données Landsat au Canada a été bien coordonnée. C'est en 1968 que le gouvernement a commencé officiellement à s'intéresser à l'utilisation des données Landsat et à s'y engager. Cet intérêt et cet engagement ont été confirmés en 1971 par la création du Centre canadien de télédétection (C.C.T.) et par la signature d'un protocole d'entente avec la National Aeronautics and Space Administration des Etats-Unis (NASA), en vue de la transmission directe de données Landsat (alors ERTS) à une station de réception au sol canadienne (Clough, 1972). Le gouvernement a confié au C.C.T. le mandat de centraliser la production, la répartition et le contrôle de la qualité des données et des techniques de télédétection (par avion et satellite), ainsi que de planifier et d'évaluer des programmes (Clough, 1972; Strome, 1975).

Depuis, des travaux de recherche et développement sur de nouveaux détecteurs, systèmes et applications ont été réalisés par le C.C.T. et, à contrat, par l'industrie et les universités (Morley, 1975). Grâce à des

throughout the country has been the Canadian Advisory Committee on Remote Sensing (operating as a sub-committee of the federal Interagency Committee on Remote Sensing, IACRS), as well as its numerous discipline- or task-oriented working groups (Morley, 1975).

Two Canadian satellite stations currently receive nation-wide Landsat data coverage: one has operated at Prince Albert, Saskatchewan since 1972, and the second at Shoe Cove, Newfoundland since 1977. Landsat users are provided with both standard photographic products for interpretation, and digital data on computer-compatible tape (CCT) for data processing and analysis on one of the many computer-based analysis systems presently in Canada. The CCRS Image Analysis System (CIAS) (Goodenough, 1976) has been available to users from government, private industry and universities since 1975, and will achieve cost-recovery status in 1982. The Applied Resource Image Exploitation System (ARIES) (Kourtz and Scott, 1978) has been developed for the forest sector, and a number of other digital analysis systems are being used in government agencies, universities, and private industry.

It has been noted by some authors (e.g., Townshend, 1977) that remote sensing development has most frequently been directed by technology and equipment rather than the user, thus distorting system development and leading ultimately to collection of unusable data. A conscious effort has been made in Canada to orient the development of Landsat data analysis hardware and software systems, and available data products, to the eventual user (e.g., the rangeland condition work of Brown et al. (1981) described by Ryerson et al. in Paper 2, or the forest cutover monitoring technique developed by Banner and Lynham (1981), discussed by Bonn et al. in Paper 3).

A major accomplishment in Canada during this decade related to this user-orientation has been the CCRS' development of the Digital Image Correction System (DICS) to operational status in 1979. Radiometrically and geometrically corrected digital Landsat data are produced on a CCT, resampled to a 50m x 50m pixel size, rotated and framed to be compatible with the Universal Transverse Mercator (UTM) grid on a National Topographic System (NTS) map sheet (Butlin et al., 1978). Each DICS scene corresponds to one-quarter of a 1:250 000 scale map and covers an area of 0.5° latitude by 1.0° longitude. Only in Canada are such geometrically corrected tapes available to users as a standard product. As

programmes subventionnés, dont beaucoup se sont rentabilisés ou ont été cédés à l'industrie, le C.C.T. a encouragé l'utilisation des données Landsat et des données de télédétection aéroportée pour une large variété d'applications à travers le pays.

La coordination du programme national de télédétection et la diffusion des informations et des données à travers le pays ont également été rendues possibles par le Comité consultatif canadien de la télédétection (sous-comité du Comité inter-organismes fédéral de la télédétection), ainsi que par ses nombreux groupes de travail effectuant des études disciplinaires ou thématiques (Morley, 1975).

Les données Landsat transmises par des satellites de partout au pays sont actuellement reçues par deux stations canadiennes, dont l'une est établie à Prince-Albert, en Saskatchewan, depuis 1972, et l'autre à Shoe Cove, Terre-Neuve, depuis 1977. Les utilisateurs de ces données obtiennent à la fois des produits photographiques normalisés pour interprétation et des données numériques enregistrées sur bandes pour ordinateur (B.O.), qui peuvent être traitées et analysées au moyen de l'un des systèmes d'analyse automatisés qui existent actuellement au Canada. Le Système d'analyse d'images du C.C.T. (CIAS) (Goodenough, 1976) est à la disposition des clients du gouvernement, du secteur privé et des universités depuis 1975, et on prévoit qu'il se rentabilisera en 1982. Il y a aussi le système ARIES (Applied Resource Image Exploitation System) (Kourtz et Scott, 1978), mis au point pour le secteur forestier et d'autres systèmes d'analyse numérique utilisés par des organismes gouvernementaux, des universités et des entreprises privées.

Certains auteurs on fait observer (comme Townshend, 1977) que, très souvent, le développement de la télédétection s'est fait en fonction de la technologie et du matériel disponibles, au détriment des besoins réels de l'utilisateur, ce qui a donné une mauvaise orientation à la mise au point des systèmes et fait que l'on a obtenu des données inutilisables. Or, des efforts ont été faits consciemment au Canada pour orienter la mise au point du matériel et du logiciel d'analyse de données Landsat et des produits de données disponibles, en fonction de l'utilisateur (par exemple, les travaux de Brown et autres (1981) sur la condition des terres de parcours, décrits par Ryerson et autres dans le deuxième document, ou encore

mentioned frequently in the subsequent papers, the availability of these tapes has allowed accurate registration of imagery from more than one date, and registration to standard map products, thus improving locational precision and interpretation accuracy for many monitoring applications.

Also during this decade, industrial capabilities in Canada for research, development and applications of Landsat data have expanded greatly. In 1975, Morley (1975) listed industrial remote sensing capability as including 15 sensor and system design and manufacturing companies, eight interpretation service companies, and 35 private consultants. In the ensuing seven years, capabilities have grown dramatically to nearly 100 companies, and Canadian industry now is internationally recognized as a major supplier of Landsat data reception and handling ground systems (Canada Industry, Trade and Commerce, 1980), as well as image analysis systems for Landsat data.

As a result of such efforts, Landsat data are now beginning to be used routinely for resource management programs by federal and provincial agencies, and by industry. As Morley (CACRS, 1979) has noted, the use of Landsat data for resource and environmental management in Canada, with its large and sparsely populated hinterland, is both useful and essential. Several important applications in the areas of geology, agriculture, forestry and hydrology have advanced from the research to the operational stage. In the past four years, emphasis has been on the development of methods for not only measuring but also monitoring environmental parameters (CACRS, 1978:46).

Successful use of Landsat data in monitoring environmental change is dependent on the requirements both for spatial and spectral resolution and for frequency of data collection. Landsat data are most useful where spatial resolution may be low and temporal frequency high. Landsat is best able to monitor large-area changes which are spectrally distinct and occur relatively rapidly (see Townshend, 1977, and discussion by Howarth et al. in Paper 1). Many excellent examples of such applications in Canada are discussed in the three papers which follow.

To illustrate the above, the following three papers review and summarize Canadian work using Landsat data in the major areas of hydrologic and coastal change, urban/agricultural change, and resource development. Case studies, geographically

la technique d'observation des coupes forestières mise au point par Banner et Lynham (1981), dont traitent Bonn et autres dans le troisième document).

En ce qui concerne l'orientation des recherches en fonction de l'utilisateur, un des progrès majeurs accomplis au Canada au cours de la dernière décennie a été la mise au point, par le C.C.T., du Système de correction des images numériques (DICS), devenu opérationnel en 1979. Des données numériques Landsat corrigées de l'erreur radiométrique et géométrique sont produites sur une B.O., rééchantillonnées selon une taille de pixel de 50 m sur 50 m, tournées et cadrées pour être compatibles avec le quadrillage Universel Transverse de Mercator (UTM) sur une feuille de carte du Système national de référence cartographique (S.N.R.C.) (Butlin et autres, 1978). Chaque scène DICS correspond à un quart d'une carte à 1/250 000 et couvre une superficie de 0,5° de latitude et 1,0° de longitude. Ce n'est qu'au Canada que des utilisateurs peuvent obtenir des bandes corrigées de l'erreur géométrique sous forme de produits normalisés. Ainsi qu'on le mentionnera souvent dans les documents qui suivent, ces bandes ont permis de superposer avec précision des images prises à des dates différentes et de les superposer à des produits cartographiques normalisés, ce qui a amélioré la précision du positionnement et l'exactitude des interprétations dans bon nombre de travaux d'observation.

En outre, depuis 10 ans, les possibilités industrielles du Canada pour la recherche, le développement et l'utilisation des données Landsat se sont enrichies considérablement. En 1975, Morley (1975) a énuméré pas moins de 15 sociétés de conception et de fabrication de détecteurs et de systèmes, 8 sociétés de services d'interprétation et 35 firmes d'experts-conseils. Dans les sept années qui ont suivi, le nombre de compagnies a presque atteint la centaine, de sorte que l'industrie canadienne est maintenant reconnue internationalement comme un des fournisseurs de systèmes de réception et de traitement au sol de données Landsat (ministère de l'Industrie et du Commerce, 1980), ainsi que de systèmes d'analyse d'images Landsat.

Par suite de ces efforts, les organismes fédéraux et provinciaux et le secteur privé commencent à utiliser couramment des données Landsat dans l'application de leurs programmes de gestion des ressources. Comme Morley (CACRS, 1979) le fait remarquer, l'utilisation des données

distributed across the entire country, are used to demonstrate successful uses of Landsat data in these areas, as developed over the last decade. The studies chosen for presentation are examples of the problem- or user-oriented approach which has been effectively utilized in Canada. Where possible, the studies have used Landsat data for both the initial environmental inventory and the subsequent identification of environmental change. To provide maximum visual impact for the changes identified, examples from many of the case studies have been reformatted and rephotographed for inclusion as plates or figures within this document.

Hydrologic and coastal change is important in Canada, as this resource is found along one of the longest coastlines in the world and out to the 320 km of economic zone, and over an area of freshwater lakes which is one of the largest of any country in the world. Howarth et al. have first discussed the nature of environmental change, providing a classification framework for change not only applicable in this paper but also in the two which follow. Then, using four case studies, they have demonstrated how the use of Landsat data has added a completely new dimension to monitoring change in this resource, monitoring which could not be carried out using standard ground or airborne techniques.

Urban and agricultural changes in Canada are somewhat more concentrated in their spatial distribution than those of hydrologic features, following closely the location of population along the southern border of the country; nevertheless, they are subject to rapid change due to urban growth, and due to agricultural expansion in some areas and abandonment in others. In the second paper, Ryerson et al. first discuss the use of Landsat for monitoring land use/urban change in Canada. The four case studies presented include two urban areas, a rural environment, and a mainly forested region, each with a different problem to solve and consequently a different approach and solution. The second section of this paper deals with monitoring different types of agricultural intensification with Landsat, using four case studies from widespread agricultural regions within the country.

As Ryerson et al. point out, for various reasons many of these applications of Landsat data for monitoring have reached the stage of routine use by the appropriate agencies.

Landsat pour la gestion des ressources et de l'environnement au Canada, dont l'arrière-pays se caractérise par une très vaste superficie et une population clairsemée, est à la fois utile et essentielle. Plusieurs applications importantes dans les domaines de la géologie, de l'agriculture, de la foresterie et de l'hydrologie sont passées du stade de la recherche à celui de l'exploitation. Depuis quatre ans, l'accent est mis sur la mise au point de méthodes qui permettent non seulement de mesurer, mais aussi d'observer des paramètres de l'environnement (CACRS, 1978:46).

Le succès de l'utilisation des données Landsat pour l'observation des changements environnementaux dépend à la fois de la résolution spatiale et spectrale et de la fréquence de saisie des données. L'utilité des données Landsat est optimale lorsque la résolution spatiale peut être faible et la fréquence de couverture élevée. Landsat est le système qui peut le mieux observer, sur de vastes superficies, des changements qui présentent une signature spectrale distincte et se produisent assez rapidement (voir Townshend, 1977, et exposé de Howarth et autres dans le premier document). Dans les trois documents qui suivent, on trouvera de nombreux et excellents exemples de ces applications au Canada.

Pour illustrer ce qui est dit plus haut, les trois documents suivants passent en revue et résument les travaux accomplis au Canada au moyen des données Landsat dans les grands domaines que sont les changements hydrologiques et côtiers, les changements urbains/agricoles et la mise en valeur des ressources. Les auteurs utilisent des études de cas représentatives de diverses régions du pays, pour montrer comment, depuis 10 ans, les données Landsat ont été mises à contribution dans ces domaines. Les études retenues sont des exemples de l'approche utilisée avec succès au Canada, axée sur le problème ou l'utilisateur. Dans la mesure du possible, ces études ont fait appel à des données Landsat à la fois pour l'inventaire environnemental initial et pour l'identification ultérieure des changements environnementaux. Pour permettre au lecteur de constater le mieux possible les changements identifiés, nous avons transformé et rephotographié bon nombre d'études de cas et nous en avons fait des planches ou des figures à l'intérieur de ces documents.

Les changements hydrologiques et côtiers revêtent une grande importance au Canada, puisqu'on les observe sur un des plus

Canada's forest, mineral, and oil and gas resources are among the richest and the most widespread in the world, and most are found far from populated areas in the northern regions of the country. Increasing emphasis among resource managers on the careful management of the environmental resources and their impacts on other resources has shown a similarly increasing requirement for up-to-date, repetitive information over vast areas. In the third paper in this publication, Bonn et al. have discussed the use of Landsat data for identifying important areas in which change is occurring (in order to maximize efficiency in airborne and ground work), for assessing the potential of renewable resources, and for evaluating change in their condition due to man-induced (e.g., pollution) or natural (e.g., insect damage) environmental impacts. Bonn et al. have described in detail the standard methodology framework used for assessing change using Landsat data; a number of case studies including topographic map updating, forest insect damage, oil sands development, and terrain mobility have been presented as illustrations.

Following the three papers, the implications and significance of the work are summarized. References for the entire publication are combined at the end of the document.

Preparation of this publication was supported by the CCRS (Canada Energy, Mines and Resources) and Canada Supply and Services, under DSS Contract No. OSQ81-0139. The publication was prepared as a specific task of the Geography Working Group of CACRS, based on a suggestion from Mr. E.A. Godby, Director General of the CCRS and Chairman of CACRS. The following agencies permitted the involvement of co-authors in the preparation and review of material for this document: Canada Centre for Remote Sensing; British Columbia Research Council; Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick; Department of Geography, McMaster University; Department of Geography, University of Sherbrooke; INTERA Environmental Consultants Ltd.; Canadian Forestry Service, Environment Canada; Gregory Geoscience Ltd.; Lands Directorate, Environment Canada; James Bay Development Society. Mr. Attilio Barcados, Editor, Canada Centre for Remote Sensing has provided technical editorial advice for both the French and English versions of the papers. Finally, the technical assistance of Miss Katherine E. Wallace, a Co-op Geography student from the University of Waterloo, in the meticulous preparation of the

longs littoraux au monde et jusqu'à une zone économique de 320 km, de même que sur une étendue d'eaux douces qui compte parmi les plus imposantes dans le monde. Howarth et autres commencent par exposer la nature des variations environnementales, en établissant un cadre de classification des changements qui s'applique non seulement à ce document en particulier, mais aussi aux deux qui suivent. Ensuite, à l'aide de quatre études de cas, les auteurs démontrent comment l'utilisation des données Landsat a ajouté une dimension complètement nouvelle à l'observation des changements de ces ressources, qui serait impossible à réaliser au moyen de techniques terrestres ou aériennes traditionnelles.

Les changements urbains et agricoles au Canada sont un peu plus concentrés dans l'espace que les changements hydrologiques, puisqu'on les observe essentiellement le long de la frontière méridionale du pays où le gros de la population est concentré; néanmoins, ces détails se modifient rapidement en raison de la croissance urbaine et aussi parce que l'agriculture gagne de l'importance dans certaines régions et en perd dans d'autres. Dans le deuxième document, Ryerson et autres parlent en premier lieu de l'application du Landsat pour observer les changements de l'utilisation des terres et les changements urbains au Canada. Les quatre études de cas présentées comprennent deux régions urbaines, un milieu rural et une région essentiellement boisée, chacune des ces régions posant un problème différent à résoudre et, par le fait même, réclamant une approche et une solution différentes. Dans la deuxième partie du document, il est question de l'observation des différents types d'intensification agricole au moyen de Landsat; les auteurs font appel à quatre études de cas empruntées à de vastes régions agricoles du pays.

Ryerson et autres soulignent que les organismes compétents utilisent couramment des données Landsat à diverses fins.

Les ressources forestières, minérales, pétrolières et gazières du Canada comptent parmi les plus riches et plus éparpillées au monde, et se trouvent en majeure partie loin des agglomérations, dans les régions nordiques du pays. Comme on attache de plus en plus d'importance à la bonne gestion des ressources environnementales et à leurs effets sur les autres ressources, il est nécessaire d'accroître constamment le volume de données à jour et répétitives obtenues sur de vastes régions.

illustrative materials was greatly appreciated.

Dans la présente publication, Bonn et autres parlent de l'emploi de données Landsat pour identifier des régions importantes où surviennent des changements (afin de maximiser l'efficacité du travail aérien et terrestre), pour évaluer le potentiel en ressources renouvelables et pour évaluer les changements observés dans l'état de ces ressources et attribuables à des facteurs artificiels (comme la pollution) ou naturels (comme les dommages causés par les insectes). Bonn et autres décrivent en détail la méthodologie normalisée utilisée pour évaluer des changements à l'aide de données Landsat; en guise d'illustrations, ils présentent un certain nombre d'études de cas dans lesquelles il est question de la mise à jour des cartes topographiques, des dommages causés aux forêts par les insectes, de la mise en valeur des sables pétrolifères et de la mobilité des terrains.

Ces trois documents sont suivis d'un compte-rendu sommaire des conséquences et de l'importance de ces travaux. A la fin du document, on trouvera la liste des références de l'ouvrage entier.

La rédaction de la présente publication a été parrainée par le C.C.T. (Energie, Mines et Ressources) et par le ministère des Approvisionnement et Services du Canada, en vertu du contrat MAS n° OSQ81-0139. Elle constitue une des tâches du groupe de travail sur la géographie du Comité consultatif canadien de la télédétection, basée sur une suggestion de M. E.A. Godby, Directeur général du C.C.T. et président du Comité. Nous remercions les organismes suivants pour avoir permis à leurs employés de participer à la rédaction et la révision des documents: Centre canadien de télédétection, British Columbia Research Council; Département de génie et d'arpentage, Université du Nouveau-Brunswick; Département de géographie, Université McMaster; Département de géographie, Université de Sherbrooke; INTERA Environmental Consultants Ltd.; Service canadien des forêts, Environnement Canada; Gregory Geoscience Ltd.; Direction des terres, Environnement Canada; Société de développement de la Baie James. M.A. Barcados, rédacteur au centre canadien de télédétection, a apporté un concours technique à l'élaboration des deux versions, tant anglaise que française, de cet article. Finalement, nous remercions très sincèrement Mlle Katherine E. Wallace, étudiante en géographie de l'université de Waterloo, pour l'aide technique qu'elle a apportée à l'élaboration soignée des illustrations.

LANDSAT FOR MONITORING HYDROLOGIC AND COASTAL CHANGE IN CANADA

SURVEILLANCE DES CHANGEMENTS SURVENANT AU RESEAU HYDROLOGIQUE ET
AUX ZONES LITTORALES DU CANADA AU MOYEN DE LANDSAT

by/par

P.J. Howarth¹

T.T. Alföldi² P. Laframboise³ J.C. Munday Jr.⁴
K.P.B. Thomson⁵ G.F. Tomlins⁶ G.M. Wickware⁷

1. Department of Geography, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario L8S 4K1
 2. Intera Environmental Consultants Ltd., 4th Floor, 785 Carling Avenue, Ottawa, Ontario K1S 5H4
 3. Société de développement de la Baie James, 800 est boul. de Maisonneuve, bureau 2200, Montréal, Québec H2L 4M6
 4. Remote Sensing Centre, Virginia Institute of Marine Science and School of Marine Science, College of William and Mary, Gloucester Point, Virginia 23062, U.S.A.
 5. Canada Centre for Remote Sensing, 717 Belfast Road, Ottawa, Ontario K1A 0Y7
 6. Division of Environmental Resource Management, B.C. Research, 3650 Wesbrook Mall, Vancouver, British Columbia V6S 2L2
 7. Lands Directorate, Environment Canada, Canada Centre for Inland Waters, P.O. Box 5050, Burlington, Ontario L7R 4A6
1. Département de géographie, Université McMaster, 1280 Main Street Ouest, Hamilton (Ontario) L8S 4K1
 2. INTERA Environmental Consultants Ltd., 785, avenue Carling, 4^e étage, Ottawa (Ontario) K1S 5H4
 3. Société de développement de la Baie James, 800 est, boulevard de Maisonneuve, bureau 2200, Montréal (Québec) H2L 4M6
 4. Remote Sensing Centre, Virginia Institute of Marine Science and School of Marine Science, College of William and Mary, Gloucester Point, Virginia 23062, U.S.A.
 5. Centre canadien de télédétection, 717, chemin Belfast, Ottawa (Ontario) K1A 0Y7
 6. Division of Environmental Resource Management, B.C. Research, 3650 Wesbrook Mall, Vancouver, (Colombie-Britannique) V6S 2L2
 7. Direction générale des terres, Environnement Canada, Centre canadien des eaux intérieures, C.P. 5050, Burlington (Ontario) L7R 4A6

INTRODUCTION

Canada presents formidable challenges to those responsible for the survey and management of its natural resources. Perhaps the biggest challenge is the size of the country itself. Maximum land dimensions both east to west and north to south are approximately 5,000 km. The territory over which a resource manager has jurisdiction can thus be very large, particularly in the northern areas. Furthermore, since the majority of the population lives within 200 km of the southern border, vast regions of the north are virtually uninhabited and accessible only at considerable cost and effort. It is therefore a difficult task not only to acquire basic information for much of the country, but also to record and monitor both the natural and man-induced changes in the environment.

Canada also has one of the most extensive coastal zones in the world; to monitor this environment as far as the 320 km (200 mile) economic zone is also a tremendous task. These challenges present aerial and spaceborne sensing systems with an important role in providing data for both land and sea areas.

The entire country has been photographed using panchromatic aerial film; for many areas, particularly in the north, these photographs are at a small scale (usually about 1:60,000) and may be as old as 30 years. Thematic mapping using such data is often a difficult task.

From the Canadian point of view, satellites, and particularly Landsat, are ideally suited for acquiring much-needed baseline resource information and for monitoring the landscape. Satellite sensing is perhaps the only feasible method for acquiring up-to-date, repetitive data for large portions of the country. For the majority of the country, there are now data covering a period of nearly 10 years, so that documentation of changes and monitoring can be undertaken on this time scale.

Not all change detection and monitoring problems are amenable to study and analysis using Landsat data. The area affected may be too small to be examined with satellite data, or changes may also be too rapid or too frequent for Landsat to provide sufficient information for the manager or the scientist. The aim of this paper is to identify the types of change, particularly change relating to hydrologic conditions and changes in coastal zone environments, that can be

Le Canada présente d'énormes défis à ceux qui sont chargés de faire le relevé des ses ressources naturelles et de les gérer, le plus grand étant peut-être l'étendue même du pays. En effet, que ce soit d'est en ouest ou du nord au sud, les dimensions sont de 5,000 kilomètres. Le territoire qui relève de la compétence d'un gestionnaire des ressources peut donc être très vaste, surtout dans le Nord. De plus, étant donné que la plus grande partie de la population vit en deçà de 200 kilomètres de la frontière méridionale, de vastes étendues du Nord sont pratiquement inhabitées et ne sont accessibles qu'au prix de grands efforts et à des coûts élevés. Il est donc difficile non seulement d'acquérir des données de base sur la majeure partie du pays, mais aussi d'enregistrer et de surveiller les changements apportés à l'environnement tant par la nature que par l'homme.

Par ailleurs, le Canada possède l'une des zones côtières les plus étendues du monde; surveiller l'environnement jusqu'à 320 kilomètres (200 milles) des côtes, soit la zone économique, constitue une tâche gigantesque. Tout ceci permet aux systèmes de télédétection aérienne et spatiale de jouer un rôle prépondérant dans l'apport de données sur les zones tant terrestres que marines.

Le pays en entier a été photographié du haut des airs sur pellicule panchromatique; dans de nombreuses régions, surtout dans le Nord, ces photographies sont à petite échelle (habituellement d'environ 1/60,000) et datent parfois d'une trentaine d'années. Il est souvent pénible d'établir des cartes thématiques à partir de ces données.

Du point de vue canadien, les satellites, et en particulier Landsat, conviennent parfaitement bien à l'acquisition de données de base sur les ressources et à l'observation du relief. La télédétection par satellite est peut-être la seule méthode possible pour acquérir des données répétitives et maintenues à jour, de grandes portions du pays. C'est ainsi que le Canada possède aujourd'hui, sur la plus grande partie du pays, des données qui s'échelonnent sur près de 10 ans, de sorte qu'il lui est désormais possible de documenter les changements et d'exercer une surveillance.

Cependant, le Landsat n'est pas une panacée. En effet, la zone visée peut être trop petite pour qu'il soit possible de

recorded and studied using Landsat data. With the use of case studies, the methodology that has been developed in Canada for monitoring and analyzing such changes is also presented.

THE NATURE OF CHANGE

Rate of change is the major element to consider with regard to change detection. This was emphasized by Townshend (1977:3) who combined rate of change with degree of spatial resolution to provide a conceptual diagram for types of monitoring systems. Extension of this approach may identify important boundaries within the time continuum of "slowly changing" to "rapidly changing", as presented below.

Change occurs in all environments, although the rates of change for different components of the environment can vary by several orders of magnitude (cf. geologic change and hydrologic change). In this study, the upper limit to the time frame is predetermined, in that changes are considered that have occurred since Landsat was launched nearly 10 years ago.

Seasonal Change

The first and most obvious change is seasonal or phenologic change in which a series of known events occurs in a logical and ordered sequence. The time frame of interest covers one year or relates to an event that covers part of the year on a repetitive basis. Although the changes that occur are anticipated, it may be important to know the rate or pattern of change. This may vary from year to year, due, for example, to climatic differences between years. The best example of this type of change is the growth, build-up and movement of ice in rivers, lakes and coastal waters, particularly in Arctic regions.

Monitoring Arctic ice conditions requires frequent and timely information on the nature and distribution of the ice. Given the short shipping season, knowing when and where to send ship traffic to minimize the time spent in ice breaking can result in considerable cost savings. Since 1975, Landsat imagery has been transmitted by facsimile recorder in near real-time to ships operating in the high Arctic as one of their aids to route selection (Shaw, 1975; Mullane, 1980).

In spite of the fact that there can be up to 80% overlap between adjacent orbits in the high Arctic, poor weather conditions

l'examiner au moyen des données provenant du satellite ou les changements peuvent être trop rapides ou trop fréquents pour que le Landsat fournisse suffisamment d'informations au gestionnaire ou à l'homme de science. Dans la présente communication, nous chercherons donc à définir les types de changement, notamment la métamorphose des conditions hydrologiques et de l'environnement des zones côtières, qu'il est désormais possible d'enregistrer et d'étudier au moyen des données Landsat. En nous servant de cas particuliers, nous vous présentons également la méthodologie mise au point au Canada pour surveiller et analyser ces changements.

LA NATURE DU CHANGEMENT

Le principal élément à considérer lorsque l'on traite de la détection du changement, c'est le rythme. Townshend (1977:3) a mis ce fait en évidence en alliant le rythme de changement au degré de résolution spatiale pour produire un diagramme conceptuel des types de réseau de surveillance. Par extension, on pourrait peut-être déterminer d'importantes limites dans le continuum temporel, du "changement lent" au "changement rapide", comme nous le verrons ci-dessous.

Il se produit des changements dans tout genre d'environnement, bien que le rythme de changement des divers éléments de l'environnement puisse varier de plusieurs ordres de grandeur (voir: changement géologique, changement hydrologique). Dans la présente étude, la limite supérieure du cadre temporel est prédéterminée, en ce sens que les changements sont censés avoir eu lieu depuis que le satellite Landsat a été lancé, il y a près de 10 ans.

Changement saisonnier

Le premier changement, et le plus évident, c'est le changement saisonnier ou phénologique, dans le cadre duquel une série d'événements connus se produisent dans un ordre logique et cohérent. La période à l'étude est d'une année ou a trait à un événement qui se répète au cours d'une même année. Bien que les changements qui se produisent soient prévus, il peut être important de savoir à quel rythme ou de quelle façon le changement aura lieu. Ainsi peut-il y avoir des variations d'une année à l'autre, attribuables, par exemple, aux changements climatiques annuels. Le meilleur exemple de ce type de changement demeure la croissance, la formation et le déplacement de la glace dans les rivières, les lacs et les

frequently limit the acquisition of suitable Landsat imagery. Darkness resulting from low sun angles during the winter months also limits data acquisition. As a result, weather satellite imagery is more frequently used for monitoring ice patterns in the high Arctic and other coastal areas (Dey, 1980 and 1981), although Landsat does provide valuable supplementary data (Dey et al., 1979a; Dey, 1980).

Monitoring the extent of snow cover represents another form of change detection on a seasonal basis. Due to the frequent need for large-area coverage, weather satellite imagery is again the preferred sensing system, although Canadian workers have also made use of Landsat data as a supplementary source of information (Ferguson and Lapczak, 1977; Dey et al., 1979b).

Long-Term Change

Apart from seasonal changes, most changes in the landscape occur slowly and/or infrequently and often only affect a relatively small area (e.g., changes in river courses and coastal features, landslides, glacial advances and retreats). Within the Landsat time frame, such changes can be thought of as long-term or virtually permanent; in other words, they occur over a time period of one to 10 years, and probably longer. Examples of this type of change are the rapid advance and then stillstand of a surging glacier, or a change in a depositional coastal landform, such as a spit or barrier island, brought about by storm conditions. In the Yukon Territory, for example, the forward progress of the Tweedsmuir Glacier was monitored with Landsat imagery, reflecting a concern that the surge would cause the glacier to cross and dam up the Alsek River. Such a condition would have resulted in the creation of an ice-dammed lake, leading to a possible catastrophic burst of the lake upon subsequent retreat of the glacier (Post et al., 1976). Fortunately, the glacier stopped just short of the river.

In the coastal zone, there are no records of Canadian work using Landsat data for analyzing physical change. In most cases, the changes would cover relatively small areas and aerial photographs are the most obvious data source to record and analyze the changes. The procedures for this type of analysis are well established, documented in the literature and beyond the scope of this paper.

eaux côtières, en particulier dans les régions arctiques.

Pour surveiller l'état des glaces dans l'Arctique, il faut obtenir des renseignements fréquents et opportuns sur la nature et la répartition des glaces. Etant donné la courte saison de navigation, le fait de savoir où et quand envoyer les navires peut permettre de minimiser le travail des brise-glaces et se traduis par une réduction considérable des coûts. Depuis 1975, les images Landsat ont été transmises presque en temps réel, au moyen d'enregistreurs de fac-similés, aux navires circulant dans le grand Arctique pour les aider à choisir leur itinéraire (Shaw, 1975; Mullane, 1980).

Malgré un chevauchement possible de 80% entre les orbites au-dessus du grand Arctique, les pauvres conditions atmosphériques empêchent souvent la satellite Landsat de produire de bonnes images. Les angles d'éclairage des rayons du soleil étant petits en hiver, dans cette région, l'obscurité qui en résulte nuit également à l'acquisition des données. Par conséquent, on utilise surtout les images climatiques du satellite pour contrôler les formations glaciaires dans le grand Arctique et d'autres régions côtières (Dey, 1980 et 1981), bien que le Landsat fournisse d'intéressantes données complémentaires (Dey et coll., 1979a; Dey 1980).

La surveillance de l'étendue de la couverture neigeuse constitue une autre forme de détection des changements saisonniers. Etant donné qu'il est souvent nécessaire de couvrir de grandes surfaces, les images climatiques obtenues par satellite météorologique constituent encore une fois le système de détection préféré, bien que les travailleurs canadiens se servent aussi des données Landsat comme d'une source d'information supplémentaire (Ferguson et Lapczak, 1977; Dey et coll., 1979b).

Changement à long terme

Exception faite des changements saisonniers, la plupart des changements de relief se produisent lentement et peu fréquemment. Ils n'influencent souvent qu'une zone relativement petite (par exemple, changement du cours d'une rivière et changement des éléments du littoral, glissement de terrain et progression et retraite des glaciers). Du point de vue de Landsat, ces changements se font à long terme ou sont pratiquement permanents; en d'autres termes, ils se produisent sur une période d'un à dix ans et probablement davantage. La

Short-Term Change

There are certain non-seasonal changes in which Landsat can play an important monitoring role. For example, a short-term change may occur but the landscape returns fairly rapidly to its previous state. The periods of time involved are of the order of a few days to several months. In flooding, for example, if the area affected is sufficiently large, Landsat imagery can be used to identify and delineate its extent.

Landsat is not always the ideal sensor to record flood conditions, since cloud may obscure the view at a critical time or the passage of Landsat over the area of interest may not coincide with the peak of the flood. In Manitoba, for example, airborne radar imagery was used to record the peak of a flood in the Red River Valley when cloud prevented the acquisition of Landsat imagery (INTERA, 1980, Section 4.4.12).

Constant Change

When water is moving material such as ice, sediment or oil, there is constant change in the environment. In some circumstances, it may be important to monitor these changes, as, for example, in the acquisition of data on ice types and the movement of ice floes at selected points. For oil and gas exploration in the Beaufort Sea, knowledge of the movement of ice floes in the vicinity of a drilling platform is vital to determine if a platform is threatened by dangerous ice, so that drilling operations have to be suspended. Given the high cost of operating a drilling platform in an Arctic environment and the importance of ensuring that no environmental damage occurs due to an oil spill, continuous monitoring at critical times is essential and must be cost-effective. Such stringent monitoring requirements cannot be achieved using Landsat data. With weather conditions often making observations difficult, virtually continuous monitoring by ground-based and/or airborne radar is the only feasible method (Mercer et al., 1980).

Landsat does come to the forefront for monitoring constant change, however, in the study of suspended sediment concentrations and sediment movements in water bodies. Procedures for determining suspended sediment concentrations from Landsat digital data have been developed by Munday (1974a, 1974b) and Alföldi and Munday (1977, 1978) and applied in a study of sediment movement in the Bay of Fundy (Mundy et al., 1979). Details of this work are presented later in the paper.

progression rapide d'un glacier en mouvement, suivie de son immobilisation ou un changement causé par une tempête à un relief côtier d'accumulation, comme une flèche ou une île-barrière, illustre ce type de changement. Au Yukon, par exemple, la progression du glacier Tweedsmuir a été surveillée au moyen des images Landsat, car on craignait que ce glacier ne se rende jusqu'à la rivière Alsek et ne la bloque. En effet, cette situation aurait provoqué la création d'un lac qui aurait débordé de façon catastrophique au moment du retrait du glacier (Post et coll., 1976). Heureusement, le glacier s'est arrêté juste avant d'arriver à la rivière.

En ce qui concerne le littoral, par ailleurs, rien n'indique que les Canadiens se soient servis de données Landsat pour analyser les changements physiques. Dans la plupart des cas, les changements touchent à des zones relativement petites et les photographies aériennes constituent de toute évidence la meilleure source de données pour les enregistrer et les analyser. Les méthodes d'analyse de ce type sont bien établies et bien documentées et dépassent le cadre de notre étude.

Changements à court terme

Certains genres de changement non saisonniers se prêtent particulièrement bien à la surveillance au moyen du Landsat. Par exemple, il peut arriver qu'un changement de courte durée se produise, mais que le relief revienne assez rapidement à son état antérieur. Le tout peut prendre quelques jours ou plusieurs mois. Ainsi, les images Landsat peuvent servir à déterminer et à délimiter l'étendue d'inondations, si les zones touchées sont suffisamment vastes.

Bien entendu, Landsat n'est pas toujours le détecteur idéal pour enregistrer les inondations, étant donné que les nuages peuvent obscurcir la vue au moment critique ou que la couverture de la région impliquée ne coïncide pas avec le point culminant de l'inondation. Au Manitoba, par exemple, on a utilisé des images obtenues par radar aéroporté pour enregistrer le point culminant d'une inondation de la vallée de la rivière Red lorsque la nébulosité a empêché l'acquisition de données Landsat (INTERA, 1980, section 4.4.12).

Changement constant

Lorsque l'eau transporte des matériaux comme de la glace, des sédiments ou du pétrole, l'environnement change constamment.

It must be pointed out, however, that the study of suspended sediment in the tidal zone is a rather special case of constant change. Allowing for some differences due to season, stage of the lunar cycle and weather conditions, any study of patterns and concentrations is based on the assumption that a similar situation exists at the same time in each tidal cycle. In other words, Landsat data are used to sample suspended sediment, as and when required.

Natural versus Man-Induced Change

Each of the examples cited above describes natural changes in the landscape. The changes would occur whether or not man had any influence in the area being studied. From a practical point of view, however, there is an important distinction between natural and man-induced change. In the latter case, monitoring is important to be able to detect any detrimental effects of changes in the landscape.

Man-induced changes may be intentional or unintentional. The most obvious man-induced change in hydrologic conditions is the establishment of a reservoir for water, flood control and/or hydro-electric power. The La Grande Hydro-electric complex (James Bay) provides an excellent example of such change. As described in greater detail later, Landsat imagery was used to monitor both the extent and the condition of the water during the filling of the LG2 Reservoir (Laframboise, 1979; Laframboise and Bachand, 1980).

The establishment of a dam, however, can disrupt the hydrologic regime of a river and cause an unintentional man-induced change. This was the case following the 1968 construction of the Bennett Dam in northern British Columbia. Major hydrologic and vegetation changes occurred downstream from the dam in the Peace-Athabasca Delta, even though the Delta is over 1,000 km distant. Landsat imagery was used by Wickware (1978), Wickware and Howarth (1981 and In Prep.) and Howarth and Wickware (1981 and In Prep.) to develop a procedure for monitoring changes in the Delta.

An unintentional, man-induced change in a coastal environment occurred at the Roberts Bank Port, 25 km south of Vancouver in British Columbia. Since historical data from aerial photographs was unavailable, Tomlins and Thomson (1980) used Landsat imagery to evaluate changes in an eelgrass meadow over the period 1973 to 1979.

Dans certaines circonstances, il importe de surveiller ces changements durant l'acquisition de données sur les types de glace et le déplacement des blocs de glace à certains points déterminés, par exemple. C'est ainsi qu'il est vital de connaître le déplacement des blocs de glace dans le voisinage d'une plate-forme de forage, en ce qui a trait à l'exploration pétrolière et gazière de la mer de Beaufort, pour savoir si la plate-forme est mise en danger par la glace et s'il est nécessaire de suspendre les travaux de forage. Etant donné le coût élevé de l'exploitation d'une plate-forme de forage dans un environnement arctique et l'importance de prévenir les dommages à l'environnement que peut provoquer un écoulement de pétrole, la surveillance continue des glaces au moment critique est essentielle et doit être rentable. Or, les données Landsat ne peuvent répondre à des exigences aussi contraignantes. Etant donné que les conditions atmosphériques rendent souvent les observations difficiles, la surveillance permanente au moyen d'un radar au sol ou d'un radar aéroporté constitue pratiquement la seule méthode utilisable (Mercer et coll., 1980).

Cependant, le Landsat vient en tête lorsqu'il s'agit de surveiller le changement constant de concentrations de sédiments en suspension et le mouvement des sédiments dans les plans d'eau. Une méthode permettant de déterminer les concentrations de sédiments en suspension à partir des données numériques Landsat a été mise au point par Munday (1974a, 1974b) et Alföldi et Munday (1977, 1978). Elle fut appliquée à une étude du mouvement des sédiments dans la Baie de Fundy (Munday et coll., 1979). On trouvera plus de détails à ce sujet un peu plus loin.

Il faut toutefois faire remarquer, cependant, que l'étude des sédiments en suspension dans la zone de marées constitue un cas plutôt particulier de changement constant. Compte tenu de certaines différences découlant de la saison, de la période du cycle lunaire et des conditions atmosphériques, on se fie sur le fait qu'une situation semblable existe au même moment de chaque cycle de marée pour étudier les schémas et les concentrations de sédiments. En d'autres termes, on n'utilise les données Landsat pour faire un échantillonnage des sédiments en suspension qu'au moment et de la façon désirée.

In summary, Table 1 provides a framework for identifying the types of change that can occur in the landscape which relate to hydrology and coastal environments. In addition, the major hydrologic and coastal change studies in Canada using non-photographic remote sensing data are listed in Table 2. Four studies have been selected for more detailed discussion to illustrate the procedures used and the results that can be obtained using multitemporal Landsat imagery to monitor the changes.

CHANGE DETECTION STUDIES

The four studies selected for this paper cover widely separated areas of the country (Figure 1). The two hydrologic studies are the filling of the LG2 Reservoir (Laframboise) in northern Quebec, and hydrologic and vegetation changes in the Peace-Athabasca Delta (Howarth and Wickware) in northern Alberta. The coastal studies are selected both from the west coast, represented by the work of Tomlins and Thomson at Roberts Bank Port, and from the east coast where Alföldi and Munday conducted their suspended sediment concentration studies in the Bay of Fundy and Minas Basin.

Given the scope of these studies, it is obviously impossible to adequately present all the details in this summary presentation. The articles on these topics listed in the references will provide additional information. In the following descriptions, references are made to the articles only when clarification is required or a statement is directly quoted.

LG2 Reservoir - Located between latitude $51^{\circ} 30' N$, and between longitude $67^{\circ} W$, La Grande Rivière drains westward from part of northern Québec and flows into the eastern side of James Bay. In this area of typical "Shield" country with an undulating topography of glaciated igneous and metamorphic rocks, la Société d'énergie de la Baie James selected sites for a series of reservoirs to provide water for the generation of hydro-electric power. The first reservoir in the complex to be filled with water was LG2. Filling commenced on 27 November 1978 and the reservoir reached its maximum depth of approximately 175 m in the fall of 1979. At full capacity, the surface area of the water is approximately 2800 km^2 , an extremely large reservoir by any standards.

In 1976, La Direction Environment de la Société d'énergie de la Baie James established an ecological monitoring network

Changement naturel contre changement provoqué par l'homme

Chacun des exemples mentionnés ci-dessus décrit des transformations naturelles du relief. En effet, ces changements auraient lieu malgré toute influence, quoique fasse l'homme dans la région à l'étude. D'un point de vue pratique, cependant, on peut établir une distinction importante entre les changements d'origine naturelle et les changements provoqués par l'homme.

Les changements artificiels peuvent être soit prémédités, soit involontaires. Le changement artificiel le plus évident des conditions hydrologiques est la création d'un réservoir en vue de disposer d'approvisionnements en eau, de contrôler les inondations et de produire de l'hydro-électricité. Le complexe hydro-électrique La Grande (Baie James) est un excellent exemple d'un tel changement. Comme on pourra le voir plus loin, l'imagerie Landsat a été utilisée pour surveiller l'étendue et l'état des eaux au cours du remplissage du réservoir LG2 (Laframboise, 1979; Laframboise et Bachand, 1980).

Toutefois, la construction d'un barrage peut perturber le régime hydrologique d'un cours d'eau et provoquer un changement artificiel involontaire. Tel a été le cas, en 1968, par suite de la construction du barrage Bennett, dans le nord de la Colombie-Britannique. D'importants changements hydrologiques et phytobiologiques sont survenus en aval du barrage, dans le delta des rivières Athabasca et Peace, même si une distance de 1 000 km sépare le delta du barrage. L'imagerie Landsat a été utilisée par Wickware (1978), Wickware et Howarth (1981 et en cours), et Howarth et Wickware (1981 et en cours), pour mettre au point une méthode visant à surveiller les changements qui se produisent dans le delta.

Un changement artificiel et involontaire dans l'environnement côtier est survenu dans le port de Roberts Bank, à 25 km au sud de Vancouver (Colombie-Britannique). Etant donné qu'aucune photo aérienne ne fournissait de données chronologiques, Tomlins et Thomson (1980) ont utilisé l'imagerie Landsat pour évaluer les changements qui se sont manifestés dans une colonie de potamots marins au cours des années 1973 à 1979.

En résumé, on trouvera au tableau 1 un cadre de définition des types de changements qui peuvent survenir dans le relief, sur le

to follow the growth of the LG2 Reservoir and the biotic, physical and chemical quality of the water. This network consists of monitoring stations set up throughout the complex. At the same time, a complementary program to assess the capabilities of Landsat imagery for monitoring changes was established. La Direction Environnement et Aménagement de la Société de développement de la Baie James conducted this study. The aims of the demonstration project were to record the growth of the reservoir, to observe the distribution of suspended sediment, organic matter, floating peat bogs and debris such as trees, and to monitor the ice cover on the reservoir during the winter months. These changes are considered to result from intentional, man-induced change.

The only investigation in which extensive use was made of visual analysis was monitoring of the LG2 Reservoir. Of 81 possible Landsat 2 and 3 images, however, only 11 had no cloud or very little cloud, and a further 10 were only partially useable. Weather observations from Environment Base Camp at Lake Hélène (near LG2 Reservoir) aided the selection of suitable dates for imagery and rush orders were placed to ensure rapid delivery. The data were usually received within 3-4 days. Visual analysis was generally used with the Landsat images in the form of paper prints. For more important dates, analysis involved the use of colour composites on a multispectral viewer.

Laframboise and Bachand (1980) show a sequence of four images covering the area of the LG2 Reservoir from prior to, and during, the filling. To illustrate the capabilities of DICS data for monitoring changes in the extent of the water, DICS images from the first and last dates (14 September, 1978 and 26 July, 1979) were recently produced and analyzed on the CIAS. (DICS images were not available when the original study was undertaken). Plate 2a is a split-screen presentation of the two scenes. It can be seen that cloud covers part of the area on the summer image. Plate 2b is an overlay with Bands 5 and 7 (1978) assigned to the blue and green guns and the Band 7 (1979) image assigned to the red gun. Colour balance was adjusted so that the original areas of water appear black, areas inundated during the filling of the reservoir appear red and the surrounding landscape is shown in a buff colour. It should be noted that the original landscape can be seen as a background through the areas of red. The final image (Plate 2c) shows the entire LG2 Reservoir on 15 July, 1981, the maximum water level being 175 m.

plan des environnements côtier et hydrologique. En guise de renseignements supplémentaires, sont répertoriées dans le tableau 2 les principales études de changements qui surviennent en milieux hydrologique et côtier au Canada. Ces études ont été effectuées au moyen de données non-photographiques obtenues par télédétection. Quatre études ont été retenues et sont décrites plus en détail afin d'illustrer les méthodes qui sont utilisées et les résultats qui peuvent être obtenus lorsque les changements sont observés au moyen d'images Landsat prises à différents moments.

ETUDES DE DETECTION DES CHANGEMENTS

Les quatre études retenues aux fins du présent exposé ont été effectuées dans des régions du pays très éloignées les unes des autres (fig. 1). Les deux études hydrologiques portent sur le remplissage du réservoir LG2 (Laframboise) dans le nord du Québec, et sur les changements hydrologiques et phytobiologiques qui sont survenus dans le delta des rivières Athabasca et Peace (Howarth et Wickware), dans le nord de l'Alberta. Des deux études de milieux côtiers qui ont été choisies, l'une a été effectuée sur la côte ouest, soit celle de Tomlins et de Thomson qui ont fait leurs travaux dans le port de Roberts Bank, et l'autre, sur la côte est, celle d'Alföldi et de Munday qui ont analysé la concentration des sédiments en suspension dans la baie de Fundy et dans le Bassin Minas.

Etant donné l'envergure de ces études, il est évidemment impossible de présenter convenablement tous leurs détails dans cet exposé sommaire. Pour plus de précision, il vaudra mieux s'en reporter aux articles qui traitent de ces sujets et qui sont énumérés dans la liste des ouvrages à consulter. Dans les descriptions qui suivent, référence est faite aux articles uniquement lorsqu'il y a lieu de clarifier ou lorsqu'un passage en est cité.

Réservoir LG2 - La rivière La Grande coule vers l'ouest, dans la zone comprise entre 51° 30' et 54° 30' de latitude Nord, et entre 67° et de 79° de longitude W, dans le nord du Québec et se jette dans la partie est de la Baie James. Dans cette région caractéristique du "Bouclier", à la topographie ondulée de roches métamorphiques et ignées qui ont subi la glaciation, la Société d'énergie de la Baie James a choisi les emplacements d'une série de réservoirs dont l'eau servira à la production d'énergie hydro-électrique. Celui du barrage LG2 a été

Plates 2a and 2b display the area covered by one DICS scene. To show the complete area of the reservoir, it would be possible to "Mosaic" the digital data from more than one DICS scene, using disk storage on the CIAS. The whole area of the reservoir could then be shown on the screen in a DICS format. This, however, was beyond the scope of the present paper.

With respect to turbidity, no variations in the water were observed for the summer image on either the visual or digital data. Further analysis of turbidity was thus not warranted, although it may be a consideration as other lakes are filled, especially in areas with fine-textured material.

Several features of the vegetation were of particular interest. First, using visual analysis, it was possible to observe partially inundated vegetation at the borders of the lake, due to the change in radiance produced by the combination of vegetation and water. A second feature was that as the water level rose during the winter, the forest cover was lifted vertically by the ice and stayed in its original position of growth. This made it virtually impossible to determine the exact boundary of the lake at this stage. The winter image was thus used along with a topographical map and Landsat images from preceding years to evaluate the area affected by uplift of vegetation, and to determine the type of vegetation and degree of uplift. This was done using visual analysis, but could have been done in more detail using digital analysis. A final feature of the vegetation was floating peat bogs and other debris, particularly tree trunks. As pointed out by Laframboise (1979:11), the identification of floating debris "depends de leurs dimensions, de leur forme et du contraste avec le milieu avoisinant". For the LG2 Reservoir, the generally small size of floating peat bogs and debris made them impossible to detect, although larger ones had been identified in an experiment carried out on an older reservoir.

Peace-Athabasca Delta - Situated at the western end of Lake Athabasca in northeastern Alberta (lat. 58° 45' N and long. 111° 30' W), the Peace-Athabasca Delta is a large wetland complex covering an area of approximately 4000 km². Since glacial times, a delta has been produced by fluvial deposition from the Peace and the Athabasca rivers. The delta contains two large, interconnected, shallow lakes, as well as small, perched lake basins, numerous small

le premier de tous les réservoirs du complexe à être rempli. Le remplissage a commencé le 27 novembre 1978 et la hauteur maximale de l'eau dans le réservoir, soit environ 175 m, était atteinte à l'automne 1979. Lorsqu'il est plein, le réservoir est extrêmement vaste comparativement à tous ceux qui existent, étant donné que l'eau couvre à ce moment-là une superficie d'environ 2 800 km².

En 1976, la Direction de l'environnement de la Société de l'énergie de la Baie James a mis sur pied un réseau de stations de surveillance de l'équilibre écologique, en vue de suivre l'évolution des caractères biotiques, physiques et chimiques de l'eau au cours du remplissage du réservoir LG2. Ces stations sont installées partout au sein du complexe. Simultanément, un programme complémentaire a également été mis en place en vue d'évaluer l'aptitude de l'imagerie Landsat à capter les changements. La Direction de l'environnement et de l'aménagement de la Société de développement de la Baie James a mené cette étude. Le projet pilote visait à enregistrer la vitesse de remplissage du réservoir et à connaître la distribution des sédiments en suspension, de la matière organique, des tourbières flottantes et de débris, tels les arbres, en plus de surveiller le mouvement des glaces dans le réservoir pendant l'hiver. Ces changements sont considérés comme étant le résultat d'un changement artificiel et prémédité.

Le projet ayant pour objectif de surveiller le remplissage du réservoir LG2 est le seul au cours duquel l'analyse visuelle a été considérablement utilisée. Toutefois, des 81 images que les Landsat 2 et 3 ont fournies, seules 11 ne comportaient que très peu ou pas du tout de nuages, et seules 10 autres étaient partiellement utilisables. L'examen des observations météorologiques qui ont été effectuées au camp de base de la Direction de l'environnement, au lac Hélène (près du réservoir LG2), a aidé à choisir les dates appropriées pour la prise d'images et des commandes urgentes ont été placées afin d'en assurer la livraison rapide. Les données ont habituellement été reçues en trois à quatre jours. En général, on a procédé à une analyse visuelle, à l'aide d'images Landsat sur papier. Pour les données les plus importantes, l'analyse comportait l'utilisation de composés couleur sur un synthétiseur multispectral.

Laframboise et Bachand (1980) montrent une séquence de quatre images de la région du réservoir LG2, prises avant et pendant le remplissage. Afin de montrer comment les

creeks and several larger, meandering rivers with levées. As might be anticipated, there is little relief in the area, and there are important ecological relationships between the relief, the hydrologic regime and the vegetation communities.

In the Peace-Athabasca Delta, the changes that occurred were produced unintentionally. The establishment of the Bennett Dam disrupted the flow regime of the Peace River and, in particular, prevented high spring flows in the Peace River downstream from the dam. In the past, these high flows had effected a hydrologic dam causing outflow from the Delta to cease. This resulted in a back-up of water in Lake Athabasca and a temporary flooding of the Delta. Such flooding was important for the renewal of nutrients in the Delta's ecosystem.

Low flows in the Peace River in 1969, 1970, and 1971 led to low water levels in the Delta (Figure 2) and subsequent shifts in the vegetational composition over much of the area. In 1971, a weir was constructed near the outlet of the Delta, designed to hold what water and runoff there was available in the Delta and thus to reduce the effects of increasingly lower water levels. By 1974, through a combination of the dam and a series of natural events, much of the Delta was experiencing wide-spread flooding (colour plate 1). Finally, in 1976, under the influence of a new weir, the water level fluctuations were restricted to more normal ranges. The vegetation once again readjusted to accommodate these hydrologic conditions. However, the previous hydrologic regime has not been fully re-established and monitoring of the delta on a long-term basis is necessary so that the need for further remedial measures can be evaluated, as required.

Although the water level changes appear to be insignificant (Figure 6), the area is so flat and the vegetation so intimately tied to the hydrologic regime that even minor fluctuations can have a considerable effect on the vegetation. As the area is part of the Wood Buffalo National Park and an important habitat for staging and migrating water fowl, as well as for several thousand free-roaming bison, there is obviously concern that the environment should not be disrupted. The extent of the changes that occurred in the period 1973 to 1976 is clearly illustrated to Colour Plate 1. The aim of the work reported in this paper was to establish a method to use Landsat digital data to not only detect but also determine

données DICS nous permettent d'observer les variations de l'étendue de la surface de l'eau, des images DICS captées le premier et le dernier jour (14 septembre 1978 et 26 juillet 1979) ont récemment été produites et analysées au moyen du système CIAS. (Il n'existait pas d'image DICS à l'époque où l'étude a commencé). La planche couleur 2a montre les deux scènes vues sur écran divisé. On peut voir qu'une partie de la région est couverte par des nuages sur l'image prise en été. La planche 2b est une superposition d'images, où les bandes 5 et 7 (1978) sont attribuées aux faisceaux bleu et vert, et l'image de la bande 7 (1979) au faisceau rouge. L'équilibre des couleurs a été réglé de façon à ce que les surfaces d'eau initiales apparaissent en noir, les surfaces inondées au cours du remplissage du réservoir en rouge, et le paysage en couleur chamais. A noter qu'on peut apercevoir le paysage original à l'arrière-plan, à travers les surfaces en rouge. L'image définitive (planche 2c) montre le réservoir LG2 en entier, tel qu'il se présentait le 15 juillet 1981, lorsque le niveau maximal de l'eau était de 175 m.

Les planches 2a et 2b démontrent une région couverte par une scène de type DICS. Afin de démontrer la surface complète du réservoir, il serait possible de produire une mosaïque à partir de données numériques provenant de une ou de plusieurs scènes DICS, en utilisant de l'espace sur disque. Toute la surface du réservoir pourrait être affichée sur écran cathodique selon un format de type DICS. Cependant, ceci sort de l'étendue du présent article.

En ce qui concerne la turbidité, aucune variation de l'eau n'a été observée sur les données visuelles ou numériques de l'image prise en été. Il n'était donc pas nécessaire d'analyser davantage la turbidité, bien que ce facteur puisse entrer en jeu étant donné que d'autres lacs sont remplis, spécialement dans les régions contenant des matériaux à grains fins.

Plusieurs caractéristiques de la végétation revêtaient un intérêt particulier. Premièrement, l'analyse visuelle permettait d'observer la végétation partiellement inondée aux abords du lac, en raison du changement du rayonnement produit par la combinaison de la végétation et de l'eau. Deuxièmement, le niveau de l'eau s'étant élevé au cours de l'hiver, la couverture de la forêt a été soulevée verticalement par la glace et est restée à l'état initial de sa croissance. Il était donc pratiquement impossible de déterminer, à ce stade, la

the nature of the hydrologic and vegetation changes in the delta.

In their studies of the Peace-Athabasca Delta, Howarth and Wickware used a digital approach involving both enhancement and classification of Landsat data. Early work involved standard Landsat CCTs, but in the more recent studies, use was made of DICS tapes. From their studies, Howarth and Wickware have recommended a five-step procedure for determining hydrologic and vegetation change in a wetland environment such as the Peace-Athabasca Delta. The amount of detail required influences the number of stages through which the analyst should work.

The first stage is preprocessing. This involves the production of DICS data to ensure accurate registration of images from two or more dates. Preprocessing also involves the application of solar and atmospheric corrections to attempt to standardize these factors for the images being studied. In the work undertaken at CCRS in Ottawa, Howarth and Wickware used the solar and atmospheric correction programs developed by Ahern et al. (1977a and 1977b).

The second stage is image enhancement. Various combinations and ratios of Landsat bands from two dates are displayed on the cathode ray tube (CRT) monitor of the image analysis system using different colour guns. In general, it is found that combinations of Bands 5 and 7 data display the most information, but the combinations will vary depending upon ground conditions. Comparing 1973 and 1976 data, it was found that the Band 5 ratio (1973/1976) assigned to the red gun and the Band 7 ratio (1973/1976) being displayed with both blue and green guns gave the best indication of change from several combinations tested. Working with 1975 data, however, the above ratio was limited in its display. The best single combination was found to be Band 5 (1975) assigned to the blue gun, a ratio of Band 5 (1976/1975) assigned to the green gun and Band 7 (1975) being displayed by the red gun. In both cases, the different colours generated on the display system showed areas of different types and degrees of change. Even these simple enhancements are able to provide the resource manager with information showing where field checking of change should be carried out. Such enhancements also aid in the location of transects for detailed field observations and for low-level aerial photography.

limite exacte du lac. L'image prise en hiver a donc été utilisée avec une carte topographique et des images Landsat des années précédentes afin d'évaluer la zone touchée par le soulèvement de la végétation et le degré de ce soulèvement. On a procédé à une analyse visuelle faute de temps, mais l'analyse numérique aurait permis un examen plus détaillé. La dernière caractéristique de la végétation était les tourbières hautes et d'autres débris, particulièrement des troncs d'arbres. Comme le signalait Laframboise (1979:11), l'identification des débris flottants "dépend de leurs dimensions, de leur forme et du contraste avec le milieu avoisinant". En ce qui concerne le réservoir LG2, en raison des dimensions relativement faibles des tourbières hautes et des débris il était impossible de les détecter, bien que des éléments semblables, plus grands, aient été détectés au cours d'une expérience effectuée sur un ancien réservoir.

Delta des rivières de la Paix et Athabasca - Situé à l'extrémité ouest du lac Athabasca, dans la région nord-est de l'Alberta (58° 45' de latitude Nord et 111° 30' de longitude W), le delta des rivières Athabasca et Peace est une importante zone de marécages qui couvre une superficie d'environ 4 000 km². La formation de ce delta résulte de l'accumulation des dépôts fluviaux des rivières Athabasca et Peace, qui se poursuit depuis la glaciation. Ce delta comprend deux grands lacs communiquants, peu profonds, en plus de petits bassins lacustres perchés, de nombreux ruisseaux de peu d'importance et de plusieurs grosses rivières à méandres avec des levées. Evidemment, le relief de la région est peu accidenté, et il existe d'importantes relations écologiques entre le relief, le régime hydrologique et les groupements végétaux.

Les changements qui sont survenus dans le delta des rivières Athabasca et Peace, ont été involontaires. La construction du barrage Bennett a perturbé le régime hydrologique de la rivière Peace et a surtout, au printemps, empêché l'eau des fortes crues de la rivière Peace de s'écouler en aval du barrage. Auparavant, ces fortes crues étaient contrôlées par un ouvrage régulateur qui empêchait la décharge de l'eau dans le delta. Il en résultait un refoulement de l'eau dans le lac Athabasca et un débordement temporaire du delta. Un tel débordement apportait beaucoup de nouvelles substances nutritives à l'écosystème du delta.

En 1969, en 1970 et en 1971, les crues de la rivière Peace ont été faibles; alors,

If information is required from Landsat data as to the nature of the environmental changes, then the analyst must move to the third stage involving classification procedures. Supervised classification is definitely preferred over unsupervised and only a small area should be displayed on the CRT monitor so that training sites for the classification can be precisely identified. In early work, areas measuring 512 x 512 pixels were analyzed. With the standard Landsat pixels of 58 m x 79 m, the areas of study were approximately 30 km x 40 km on the ground. For later studies with DICS data and a 50 m² pixel, an area of 170 x 170 pixels (8.5 km x 8.5 km) was selected for analysis. Training site selection could be done much more effectively in this latter case with each pixel on the CRT monitor displayed approximately nine times.

The 170 x 170 pixel study areas for 1975 and 1976 and the classifications produced from these are displayed in Colour Plate 3, while details of the classes identified are shown in Table 3. As each vegetation type in the classifications is well defined and spectrally distinct, there is no spectral overlap between the classes. Even allowing for the fact that a large portion of each image consists of water, a high percentage of the pixels are classified. By comparing the classifications with 1:7,000 scale 70 mm colour photographs acquired along selected transects in the study area, accuracy of classification has been determined as high.

Following classification, it is possible to undertake the fourth stage known as post-classification change detection. As shown in Table 3, the percentage change in area may be determined for each class. Although this procedure indicates that change has occurred, it does not identify the nature of the change. This can be done using a change matrix in which the changes on a pixel-by-pixel basis are calculated. Results are usually displayed as percentage change between each combination of classes from the two dates (e.g., Table 4).

Although the results show the nature of the change, they do not show the spatial pattern. This can be achieved using binary theme prints on which addition and subtraction of appropriate classes from two dates can be displayed by an electrostatic printer. Such data can be generated at a scale suitable to overlap on existing map bases. Alternatively, line printer output can be generated to give a conflict character assignment map which shows in alphanumeric

le niveau de l'eau est resté bas dans le delta (fig. 2) et la composition de la végétation a été modifiée dans presque toute la région. En 1971, un déversoir a été construit près de l'embouchure du delta, en vue de retenir la masse aquifère du delta et ses eaux de ruissellement et ainsi, atténuer les répercussions de la baisse grandissante du niveau de l'eau. Dès 1974, grâce à l'influence conjuguée du barrage et d'une série d'événements naturels, presque toutes les diverses zones du delta connaissaient un débordement étendu (planche en couleur 1). Finalement, en 1976, par suite de la construction d'un autre déversoir, les oscillations du niveau de l'eau étaient limitées à des écarts plus classiques. Une fois de plus, la végétation s'est adaptée à de nouvelles conditions hydrologiques. Toutefois, le régime hydrologique antérieur n'a pas été entièrement reconstruit et il est nécessaire d'exercer une surveillance à long terme du niveau de l'eau dans le delta, afin de faire construire d'autres ouvrages de régularisation, au besoin.

Bien que les oscillations du niveau de l'eau semblent être minimales (fig. 6), le terrain est tellement plat et la vie végétale est si intimement liée au régime hydrologique, que même des oscillations de peu d'importance peuvent influencer grandement sur la végétation. Comme la région empiète sur le Parc national de Wood-Buffalo et que c'est l'habitat de nombreux oiseaux aquatiques sédentaires et migrateurs et de plusieurs milliers de bisons sauvages, il y a lieu de veiller à la préservation de la qualité de son environnement. L'ampleur des changements qui ont eu lieu entre 1973 et 1976 est clairement illustrée sur la planche en couleur No. 1. L'objectif des travaux qui font l'objet de cet exposé était de mettre au point une méthode d'utilisation des données numériques Landsat servant à déterminer les changements hydrologiques et phytobiologiques qui se sont produits dans le delta et à en déterminer la nature.

Dans leurs études du delta des rivières Peace et Athabasca, Howarth et Wickware ont recouru à une analyse numérique avec accentuation et classification des données Landsat. Les premiers travaux comprenaient des bandes normales Landsat pour ordinateurs, mais pour leurs récentes études, ils ont utilisé des bandes DICS (Système de correction des images numériques). A la suite de ces études, Howarth et Wickware ont recommandé une méthode en cinq étapes qui permet de déterminer les changements de l'hydrologie et de la végétation sur des

form what the change, if any, has been for each individual pixel between the two dates being compared.

The fifth and final stage is signature file extension. If only a small area (e.g., 170 x 170 pixels) has been analyzed, it is obviously important to try and extend it to other parts of the overall area being studied. This can be done by signature file extension in which the spectral ranges established for the training sites are applied outside the initial area of study. As long as the environment remains similar, errors will not be introduced. Howarth and Wickware found that a good signature file extension was possible in the Peace-Athabasca Delta. Away from the initial study site, some areas were not classified, but the majority of these were not represented in the initial site.

In conclusion, the results noted in Table 4 from Howarth and Wickware suggest that the five stages outlined in this paper form an excellent sequence for analyzing hydrologic and vegetation changes over a large area. "The amount of information required will depend on the complexity of the problem and the level and type of resource management decision to be made" (Howarth and Wickware, 1981:290).

Roberts Bank Port - The Roberts Bank Port is located on the Fraser River delta, immediately south of Vancouver. The port facility consists of a 20 ha man-made island situated 5 km offshore in the Strait of Georgia. A causeway connects the port to the mainland. Just over 2 km southeast of the port, a smaller island and causeway provide facilities for the Tsawassen ferry terminal. Tidal flats surround the islands and causeways. Water depths are relatively shallow and the tidal flats support an approximately 300 ha bed of eelgrass (Zostera Marina L.). The bed is ecologically important as a spawning ground for herring and for juvenile salmonids.

In the Roberts Bank Port study, the aim was to investigate possible impacts of construction on an eelgrass bed located in the vicinity of the port. The port was initially built in the late 1960's and in 1975 a proposal was put forward to add up to 110 ha to the existing facility (i.e., increase the size of the island more than five times). The initial environmental hearings rejected full-scale expansion of the port on the grounds that it could cause unacceptable impacts on the estuarine ecology. A subsequent proposal, to expand

terres inondées telles que le delta des rivières Peace et Athabasca. La quantité de détails requise influence le nombre d'étapes par lesquelles doit passer l'analyste.

La première étape est celle du traitement préalable. Il s'agit de produire des données DICS afin d'assurer la superposition exacte d'images prises au moins à deux dates différentes. Ce traitement préalable consiste aussi à apporter des corrections solaires et atmosphériques pour essayer de normaliser ces facteurs en vue d'étudier les images. Dans leurs travaux entrepris au C.C.T. à Ottawa, Howarth et Wickware ont utilisé les programmes de corrections solaires et atmosphériques mis au point par Ahern et al. (1977a et 1977b).

La deuxième étape consiste à accentuer les images. Diverses combinaisons de rapports de bandes Landsat enregistrées à deux dates différentes sont affichées sur l'écran cathodique de l'analyseur d'images à l'aide de différents faisceaux de couleurs. En général, on constate que les combinaisons des données des bandes 5 et 7 donnent le plus de renseignements, mais qu'elles varient en fonction des conditions au sol. En comparant les données de 1973 et de 1976, on a constaté que le rapport de la bande 5 (1973/1976) attribué au faisceau rouge et que celui de la bande 7 (1973/1976) que l'on affichait avec les faisceaux bleu et vert indiquait le mieux, parmi plusieurs combinaisons mises à l'essai, le changement de la végétation. Cependant, en utilisant les données de 1975, le rapport susmentionné ne donnait pas d'aussi bons résultats. La meilleure combinaison est celle de la bande 5 (1975) pour le faisceau bleu, le rapport de la bande 5 (1976/1975) affecté au faisceau vert et la bande 7 (1975) qui était affichée par le faisceau rouge. Dans les deux cas, les couleurs différentes produites sur l'écran ont montré des zones pour lesquelles les types et les degrés de changement étaient différents. Ces simples opérations d'accentuation permettent au gestionnaire de ressources d'obtenir des renseignements indiquant là où il faudrait effectuer des vérifications des changements sur le terrain. Ces opérations aident aussi à localiser les transects où l'on pourra effectuer des observations détaillées sur le terrain et qui pourraient faire l'objet de photographies aériennes à faible altitude.

S'il a besoin de renseignements fournis par les données Landsat quant à la nature des changements environnementaux, l'analyste doit procéder à la troisième étape qui fait appel aux méthodes de classification. Dans ce cas,

port handling facilities to a total of 80 ha and at the same time undertake an eelgrass re-vegetation program, was accepted and work on the new facilities began in September 1980.

During the environmental hearings, particular concern was expressed regarding the potential impact of the port expansion on the eelgrass bed. There was some dispute relating to the impact that the existing port had had on the eelgrass since its completion in the late 1960's. No definitive information was available to determine whether the bed had increased in extent (due to protection from tidal erosion and the improved clarity of the water) or had reduced in size (due to dredging, ship movements and new currents). Apart from panchromatic and colour infrared aerial photographs obtained in 1975 and 1976, no recent aerial data were available. The objective of the study was, therefore, to determine if Landsat digital data could be used to map the distribution of the eelgrass and monitor any changes over time. With respect to the nature of the changes being studied, the problem can be considered an unintentional, man-induced change.

At the Roberts Bank Port, initial work involved visual analysis of 70 mm and standard 1:1,000,000 scale transparencies. On the colour additive viewer, the data were found to be degraded and there were problems of accurate registration with two or more bands; the density slicer was also of little use due to the degradation of the data. Using a return beam vidicon (RBV) image, poor spectral resolution was encountered; hence, it was impossible to delineate vegetation boundaries. Thus, the major problem with the visual approach in this specific study was that the area being studied covered a relatively small area and spectral differences were not well defined in the visible part of the spectrum. A digital approach to the problem was thus more appropriate.

Using summer imagery from 1973 to 1979 inclusive, the data were displayed in turn on a CRT monitor. Several display magnifications were tried and the easiest to work with was a four-times magnification (128 x 128 pixels). Various enhancements were investigated to determine the most suitable for observing the eelgrass bed. As part of the bed was intertidal, it was found that Band 6 data were more useful than Band 7, because a certain amount of water penetration was possible with Band 6.

il est certainement préférable d'effectuer une classification supervisée et seule une petite zone devrait être affichée sur l'écran cathodique de façon que les sites d'entraînement choisis pour la classification puissent être reconnus avec précision. Pour les premiers travaux, on a analysé des zones mesurant 512 x 512 pixels. Pour les pixels standard de Landsat, soit 58 m x 79 m, les zones étudiées étaient d'environ 30 km x 40 km au sol. Pour les dernières études avec les données DICS et un pixel de 50 m², une zone de 170 x 170 pixels (8,5 km x 8,5 km) a été choisie pour l'analyse. Le choix des sites d'entraînement a pu être fait beaucoup plus efficacement dans ce dernier cas, car chaque pixel sur l'écran cathodique était grossi d'environ neuf fois.

Les zones de 170 x 170 pixels pour 1975 et 1976 et les classifications produites à partir de celles-ci sont données sur la planche en couleur No 3, tandis que les détails des catégories déterminées sont données au tableau No 3. Etant donné que chaque type de végétation compris dans les catégories est bien défini et distinct du point de vue spectral, il n'y a aucun chevauchement de spectre entre les catégories. Même en tenant compte du fait qu'une grande partie de chaque image représente de l'eau, on a réussi à classer un pourcentage élevé de pixels. En comparant les catégories avec les photographies couleur de 70 mm à l'échelle de 1/7 000 prises le long de bandes de terrain choisies dans la zone étudiée, l'exactitude de la classification s'est révélée aussi élevée.

Après la classification, il est possible d'entreprendre la quatrième étape connue sous le nom de détection du changement postérieur à la classification. Comme le montre le tableau 3, la variation du pourcentage dans la zone peut être déterminée pour chaque catégorie. Bien que cette méthode indique qu'un changement s'est produit, elle ne révèle pas la nature du changement. On peut la déterminer en utilisant une matrice de changement dans laquelle les changements d'un pixel à l'autre sont calculés. Les résultats sont habituellement donnés en variation de pourcentage entre chaque combinaison de catégories d'une date à l'autre (par ex., tableau 4).

Même si les résultats montrent la nature du changement, ils ne révèlent pas la configuration spatiale. Pour ce faire, on utilise des épreuves à thème binaire sur lesquelles une imprimante électrostatique permet d'afficher l'addition et la

Linear contrast stretch was applied to each band of the data, and several combinations and ratios of Landsat bands were evaluated to optimize discrimination of the intertidal vegetation. The investigators found that a stretched Band 4 assigned to the blue gun, a stretched Band 5 for the green gun and stretched $(\text{Band } 6 - \text{Band } 5) / (\text{Band } 6 + \text{Band } 5)$ displayed by the red gun was the best enhancement for their purposes. "Not only was the contrast between vegetation and other features considerably improved, but submerged vegetation identification was also facilitated due to the inclusion in the red channel of MSS 5 information,...." (Tomlins and Thomson, 1980:295). Colour Plate 4 shows the images from four of the years investigated. The eelgrass bed can be clearly seen between the port and the ferry causeways and also southeast of the ferry.

Classification procedures were applied to the images and unsupervised proved, in this case, better than supervised classification; this may be due to a lack of homogeneity in the vegetation and the small area available for training. Using the unsupervised classification, the distribution of both the eelgrass and the other intertidal vegetation could be determined.

The only aerial photographs available for the study period were from 1975 and 1976 and interpretation of these was used to provide ground information for estimates of accuracy using the different analysis procedures. The Landsat digital analysis was clearly more accurate than the results produced by the colour additive viewer and the density slicer.

In conclusion, it is interesting to note that Landsat provides "the only continuous record of the areal extent of intertidal vegetation on Roberts Bank from 1973 to the present" (Tomlins and Thomson, 1980:297) The results showed that there was little change in the vegetation over the period 1973-1979 (Figure 3) during and after Port Construction.

Bay of Fundy - The Bay of Fundy is located on the east coast. At its head, the Bay of Fundy divides into two arms; the southernmost, with an area of 1100 km², is the Minas Basin. The Bay of Fundy is famous for the largest tides in the world with an extreme range of 16.30 m at Burntcoat Head in the Minas Basin (McWhirter, 1982:65).

Within the Minas Basin, much of the bedrock consists of unresistant sandstones, often overlain by a sandy till. The rapid

soustraction des catégories appropriées d'une date à l'autre. Ces données peuvent être produites à une échelle appropriée au chevauchement qui existe sur les bases de cartes existantes. Ou bien, l'imprimante par lignes peut donner une carte montrant sous forme alphanumérique quel a été le changement, s'il y a lieu, pour chaque pixel d'une date à l'autre.

La cinquième et dernière étape est celle de l'extension du dossier des signatures. Si seule une faible zone (par ex., 170 x 170 pixels) a été analysée, il est évidemment important d'essayer de l'étendre à d'autres parties de l'ensemble de la zone que l'on veut étudier. Pour ce faire, on procède à l'extension du dossier des signatures: les gammes spectrales établies pour les sites d'entraînement sont appliquées en dehors de la zone initialement étudiée. Aussi longtemps que l'environnement demeure semblable, aucune erreur ne sera introduite. Howarth et Wickware ont remarqué qu'il était possible d'obtenir une bonne extension du dossier des signatures dans le delta des rivières Peace et Athabasca. Certaines régions éloignées du site initialement étudié n'ont pas été classées, mais la plupart d'entre elles n'étaient pas représentées sur le site initial.

En conclusion, les résultats fournis dans la table 4 par Howarth et Wickware sont d'avis que les cinq étapes décrites dans le présent document constituent une excellente séquence qui permet d'analyser les variations de l'hydrologie et de la végétation dans une vaste région. "La quantité de renseignements nécessaires dépend de la complexité du problème, du niveau et du type de la décision que l'on doit prendre en matière de gestion des ressources" (Howarth et Wickware, 1981:290).

Port de Robert Banks - Le port de Roberts Bank est situé dans le delta du fleuve Fraser, juste au sud de Vancouver. Les installations portuaires se trouvent dans une île artificielle d'une superficie de 20 ha, qui est située à 5 km de la côte, dans le détroit de Géorgie. Une digue relie le port au continent. A un peu plus de 2 km au sud-est du port, l'embarcadère de Tsawassen est sur une île plus petite qui est reliée au continent par une digue. Des estrans entourent les îles et les digues. Le détroit est relativement peu profond, et les estrans abritent des colonies de potamots marins (*Zostera marina* L.), qui forment une prairie sous-marine d'une superficie d'environ 300 ha. La prairie est importante du point de vue écologique, étant donné que c'est une

movement of water into and out of the Minas Basin during each tidal cycle, plus the presence of sandstone, means that a wide range of suspended sediment concentrations may be encountered in different parts of the basin. Thus, it is an ideal site for studying methods of determining suspended sediment concentrations using Landsat data.

The aim of the Bay of Fundy study was first to develop and test a method for measuring suspended sediment concentrations using Landsat digital data. Once proven, the aim was then to apply this procedure to acquire suspended sediment concentrations for parts of the Bay of Fundy (in particular the Minas Basin). The data were then to be input to a numerical model for assessing the impacts of a proposed tidal barrage to generate electric power. As pointed out by Munday et al. (1979:622) "appropriate data reduction techniques for Landsat measurement of suspended sediment have been sought by many authors since the launch of Landsat in 1972". The work reported herein covers a series of experiments that began in 1974 and concerned the development of a methodology for detecting suspended sediment concentrations using Landsat digital data. As pointed out by Alföldi and Munday (1978:109), although classification techniques are often suitable for vegetation applications where discrete spectral classes occur, this is not the case with water, "because water is a dynamic fluid, contaminants are continuously distributed and many contaminants are coloured..."

Their technique, known as chromaticity analysis, originates from methods of colour measurement and was initially applied to Landsat data by Munday (1974a, 1974b). Further developments led to the procedure described in detail by Alföldi and Munday (1977, 1978) and Munday et al. (1979).

Chromaticity analysis makes use of the normalized radiance values for MSS (multispectral scanner) Bands 4, 5 and 6. Chromaticity "y" is calculated from $N5/(N4 + N5 + N6)$, while chromaticity "x" is obtained from $N4/(N4 + N5 + N6)$. Data can then be plotted on a chromaticity diagram (Figure 4). With changing suspended sediment concentrations, the data points in chromaticity space describe a sediment locus, as shown in Figure 4. As atmospheric conditions change, the position of the locus is also changed, radially from E, but it is possible to adjust data to a standard locus for a particular area. Thus, data from more than one Landsat pass can be analyzed and

frayère pour les harengs et les jeunes membres de la famille des salmonidés.

L'objectif de l'étude effectuée dans le port de Roberts Bank était d'examiner les répercussions éventuelles de la construction d'ouvrages sur une prairie de potamots marins qui est située à proximité du port. La construction des installations du port remonte à la fin des années soixante et, en 1975, une proposition visant à augmenter de 110 ha la superficie des installations actuelles (c.-à-d. plus que quintupler la superficie actuelle de l'île) a été déposée. L'idée en a été rejetée à la fin des premières audiences au sujet des répercussions éventuelles sur l'environnement, parce que sa réalisation aurait pu être le prélude à des retombées d'une ampleur inadmissible sur l'équilibre écologique de l'estuaire. Une proposition ultérieure visant à porter la superficie des installations de manutention du port à 80 ha et à appliquer du même coup un programme de régénération de la prairie de potamots marins, a été acceptée, et les travaux de construction des nouvelles installations ont commencé en septembre 1980.

Au cours des audiences visant à établir les répercussions éventuelles sur l'environnement de la mise en oeuvre de tels travaux, ce sont les retombées éventuelles de l'agrandissement des installations du port sur la prairie de potamots marins, qui ont particulièrement retenu l'attention. Les avis étaient partagés en ce qui a trait aux répercussions que les actuelles installations portuaires ont eu sur la colonie de potamots marins depuis leur mise en service, à la fin des années soixante. On ne disposait d'aucun renseignement précis permettant de déterminer si l'étendue de la prairie avait augmenté (parce que la conomie serait protégée de l'érosion par les marées et que l'eau serait plus claire) ou si elle avait diminué (en raison du dragage, des mouvements des navires et de l'existence de nouveaux courants). Exception faite des données que fournissaient les photographies aériennes en couleur, à l'infrarouge et celles prises sur pellicules panchromatiques, qui ont été faites en 1975 et en 1976, aucune donnée aérienne récente n'était disponible. Par conséquent, l'étude a eu pour objectif de déterminer si les données numériques Landsat pouvaient être utilisées pour cartographier la distribution des potamots marins et pour suivre les changements au fil du temps. Relativement à la nature des changements qui sont étudiés, le problème peut être considéré comme étant lié à un changement involontaire et artificiel.

reference to surface data is not required on each occasion.

In the early stages of the work, correlation of the X-chromaticity value with suspended sediment concentrations measured at the exact time of the Landsat pass was an important element in verifying the procedure. Surface water samples were acquired by Amos (1976) within 10 minutes of an overpass using Knudsen or Nalgene bottles lowered from a helicopter at surveyed sample stations. Samples were analyzed within hours of collection. Over the period of the experiment, samples were acquired from 108 points in the Bay of Fundy. "Correlation between satellite and surface data for the combined data sets (after relative atmospheric adjustments) is 96% and the absolute error of the calibrated satellite measurements is approximately 44%" (Munday et al., 1979:639), over a range of 1 mg per litre to 1,000 mg per litre.

In summary, the procedure involves several steps for the user. First, sets of Landsat digital values in Bands 4, 5 and 6 are recorded and averaged for series of 4 by 6 pixel arrays, selected to provide good coverage for areas of interest. The MSS digital values are converted to radiances using Landsat sensor calibration factors. Second is the chromaticity transformation involving the plotting of sediment loci for each date being analyzed. A standard locus is then selected and other loci are adjusted to the standard locus in Step 3. The fourth step is the calculation of a regression between the reference locus chromaticities and the suspended sediment concentration data acquired in the field. Location of the field points is obviously important so that the correct pixels are used in the regression. Finally, the regression is applied so that values of suspended sediment concentrations may be obtained for selected scene locations and/or to map the distributions. Colour Plate 5 shows a typical suspended sediment concentration map produced for the Minas Basin by chromaticity analysis.

The Bay of Fundy, and its extension the Minas Basin, were chosen for the studies because a tidal barrage has been proposed for the generation of electric power. Given the high suspended sediment concentrations in the Minas Basin, there was concern that disruption of normal flow could lead to siltation and rapidly make the system inoperative. Through chromaticity analysis, detailed data have been generated for use in a predictive numerical model for the Fundy system. The model shows that "no significant

Au port de Robert Banks, les travaux initiaux ont consisté à analyser visuellement les diapositives des 70 mm et d'autres à l'échelle standard de 1/1 000 000. Avec le synthétiseur multispectral, on a constaté que les données s'étaient détériorées et qu'il y avait des problèmes de superposition exacte avec deux bandes ou plus; de plus, l'isodensitomètre n'a que peu servi en raison de la dégradation des données. L'image du vidicon à retour de faisceau (RBV) a donné une résolution spectrale médiocre; par conséquent, il n'a pas été possible de délimiter les frontières de la végétation. Le problème majeur avec cette méthode visuelle, dans ce cas particulier, est que la zone étudiée couvrait une superficie relativement faible et que les différences spectrales n'étaient pas bien définies dans la partie visible du spectre. La méthode numérique convenait donc mieux à l'étude.

Les données extraites de l'imagerie estivale de 1973 à 1979 inclusivement, ont été affichées sur un écran cathodique. Plusieurs grossissements ont été essayés et le plus facile à utiliser était celui qui grossissait quatre fois (128 x 128 pixels). Diverses accentuations ont été mises à l'essai afin de déterminer celle qui convenait le mieux à l'observation du lit de potamots marins. Etant donné qu'une partie du lit était intertidale, on a constaté que les données de la bande 6 étaient plus utiles que celles de la bande 7, car la bande 6 permettait, dans une certaine mesure, de pénétrer l'eau.

Le rehaussement du contraste linéaire a été appliqué à chaque bande de données et plusieurs combinaisons et rapports de bandes Landsat ont été évalués pour optimiser la discrimination de la végétation intertidale. Les chercheurs ont remarqué que l'affectation de la bande 4 rehaussée du faisceau bleu, celle de la bande 5 rehaussée du faisceau vert et celle des bandes rehaussées (bande 6 - bande 5) / (bande 6 + bande 5) affichées par le faisceau rouge donnaient la meilleure accentuation pour leurs besoins. "Non seulement le contraste entre la végétation et les autres éléments s'améliorait considérablement, mais encore la reconnaissance de la végétation submergée était facilitée en raison de l'inclusion, dans le canal rouge, de l'information fournie par la bande 5 du balayeur multispectral" (Tomlins et Thomson, 1980:295). La planche en couleur No 4 montre les images pour quatre des années étudiées. On peut clairement voir le lit de potamots marins entre le port et les digues du traversier et aussi au sud-est du traversier.

sedimentation is to be expected from the proposed tidal barrage during the design lifetime of the project, confirming the viability of the tidal power plan" (Munday et al., 1979:639).

DISCUSSION

On the basis of the above studies, certain general observations can be made and conclusions drawn about the use of Landsat imagery for monitoring hydrologic and coastal changes. First, in all four studies, Landsat is seen as the only practical data source from which to obtain the required information. In the case of the LG2 reservoir, it would have been possible to fly aerial photography at each time period that data were required, but the costs would have been high. Some photography was flown, but Landsat imagery had sufficient resolution to provide most of the required information.

In obtaining the suspended sediment concentrations in the Bay of Fundy, it would have been virtually impossible to obtain almost simultaneous data for such a large area, especially as water movement in the Bay is so dynamic. To obtain the data on nine separate occasions would have been prohibitive both in terms of time and cost.

For the Peace-Athabasca Delta and Roberts Bank Port, Landsat data were analyzed from dates prior to the commencement of the studies. Aerial photographs were not available to provide the required information, so that in both studies Landsat imagery was the only available data source. Both studies demonstrate the importance of maintaining an archive of Landsat data for future reference.

A second point to consider is the resolution of the data, both spectrally and spatially. In the LG2 Reservoir study, the tonal differences between the water and land surfaces gave a good contrast and visual analysis provided sufficient spectral resolution to identify the water boundary accurately. Even where vegetation was inundated by water at the border of the lake, there was sufficient spectral resolution to identify this zone. In winter, however, snow covered both the ice and the land surface. This, combined with the raising of the vegetation by the ice, made placement of the boundary virtually impossible.

Although visual analysis was possible as part of the LG2 Reservoir study, in the other three studies digital analysis was essential. For the Roberts Bank Port study,

Les méthodes de classification ont été appliquées aux images et la classification non-supervisée s'est avérée, dans le présent cas, meilleure que la classification supervisée; cela est peut-être dû à un manque d'homogénéité dans la végétation et à la faible étendue de la zone utilisée pour l'entraînement. La classification non-supervisée a permis de déterminer la répartition des potamots marins et celle d'autres types de végétation intertidale.

Les seules photographies aériennes disponibles pour l'étude la période étudiée dataient de 1975 et de 1976 et leur interprétation a servi à obtenir des renseignements de base pour estimer la précision à l'aide des différentes méthodes d'analyse. L'analyse numérique des données Landsat était nettement plus précise que les résultats obtenus avec le synthétiseur multispectral et avec l'isodensitomètre.

En conclusion, il est intéressant de noter que Landsat fournit "les seules données continues de toute la zone de végétation intertidale sur Robert Banks de 1973 jusqu'à présent" (Tomlins et Thomson, 1980:297). Les résultats ont montré que la végétation n'a guère varié au cours de la période s'étendant de 1973 à 1979 (Fig. 3), soit durant et après la construction du port.

Baie de Fundy - Le quatrième terrain d'étude est situé sur la côte est, il s'agit de la baie de Fundy. A son sommet, la baie de Fundy se divise en deux bassins. Celui qui est le plus au sud, le Bassin Minas, couvre une superficie de 1 100 km². Ses marées, dont l'amplitude est la plus forte au monde, ont rendu la baie de Fundy célèbre. Au cap Burntcoat, dans le Bassin Minas, l'amplitude est extrême: 16,3 m (McWhirter, 1982:65).

Dans le Bassin Minas, le socle rocheux est presque partout constitué de grès friables qui sont souvent recouverts de till sableux. La rapidité du mouvement de l'eau dans ce bassin au cours de chaque cycle de marée, ajoutée à la présence de grès, signifient que les concentrations de sédiments en suspension peuvent varier énormément d'une partie du bassin à une autre. Par conséquent, ce bassin est un emplacement idéal pour mettre à l'essai des méthodes de mesure des concentrations de sédiments en suspension, qui utilisent les données Landsat.

Le principal objectif de l'étude qui a porté sur la baie de Fundy, a été d'élaborer

Tomlins and Thomson (1980) attempted to use visual techniques to study 70 mm Landsat data on a colour additive viewer and a density slicer. In both cases, there was a problem of data degradation; with the colour additive viewer there was an additional complication of data registration. One RBV image was studied, but the spectral resolution was insufficient to delineate the vegetation boundaries. Thus, for both spatial and spectral considerations, digital analysis of the port site was required.

In the Peace-Athabasca Delta, it is possible to see the effects of flooding quite clearly (Figure 7), but to undertake any analysis, digital data are required. As demonstrated by Howarth and Wickware, digital data are required to identify areas of change using images from two dates, to obtain sufficient spatial resolution to select training sites and to provide the spectral resolution to differentiate the vegetation types.

For chromaticity analysis, Alföldi and Munday transformed their digital data prior to correlating x-chromaticity values with field data on suspended sediment concentrations. This type of analysis is clearly impossible using visual data. Thus, for most aspects of the work reported herein, Landsat digital data are required to produce the necessary radiometric and spatial resolutions to undertake the required tasks.

A further consideration with respect to resolution is that Landsat D is scheduled for launch in 1982. The Thematic Mapper (TM) on board the satellite, with its increased spectral (7 channels) and spatial (30 m) resolutions, should provide more detailed information than currently available from the Landsat MSS system. Particularly in the Roberts Bank Port study, resolution was a limiting factor in identifying the extent of the eelgrass beds. Using an airborne MSS system to acquire data, a Landsat D simulation study of the port area was successfully completed in 1981. It has been proposed that the study be repeated in 1982 and then be phased in as an operational monitoring program using the Landsat D TM data acquired from the satellite, when they become available.

An important consideration for any Landsat study is the frequency with which the data can be acquired at suitable times of the year, versus the need for the data. In the LG2 Reservoir study, for example, data were required on at least a monthly basis over the one-year period of the filling of the

et de mettre à l'essai une méthode de mesure de la concentration des sédiments en suspension au moyen des données numériques Landsat. La méthode ayant fait ses preuves, il s'agissait ensuite de l'appliquer à l'établissement de la concentration des sédiments en suspension, pour diverses zones de la baie de Fundy (particulièrement la zone du bassin Minas). Les données devaient par la suite être intégrées à un modèle numérique servant à évaluer les répercussions de la construction proposée d'une centrale marémotrice destinée à produire de l'énergie électrique. Tel que Munday et ses collaborateurs l'ont fait remarquer (1979:622), de nombreux chercheurs ont tenté, depuis le lancement du Landsat en 1972, d'améliorer les techniques de réduction des données pertinentes à la méthode de mesure Landsat de la concentration des sédiments en suspension. Les travaux dont il est fait mention ici font partie d'une série d'expériences qui a débuté en 1974.

Les précédents travaux d'Alföldi et de Munday portaient sur la mise au point d'une méthodologie qui permet de détecter les concentrations de sédiments en suspension à l'aide des données numériques de Landsat. Comme le signalaient Alföldi et Munday (1978:109), bien que les techniques de classification conviennent souvent aux applications relatives à la végétation là où des catégories distinctes du spectre apparaissent, ce n'est pas le cas avec l'eau, "parce que l'eau est un fluide dynamique, où les agents de contamination sont continuellement distribués et de nombreux agents de ce type sont colorés..."

Leur technique, l'"analyse de chromaticité", dérive des méthodes de colorimétrie; c'est Munday (1974a et 1974b) qui, le premier, l'a appliquée aux données Landsat. D'autres perfectionnements ont abouti au procédé exposé de façon détaillée dans les travaux d'Alföldi et Munday (1977 et 1978) et de Munday et al. (1979).

L'analyse de chromaticité appliquée aux bandes 4, 5 et 6 du balayeur multispectral (MSS) fait appel à des valeurs de radiance normalisées. La chromaticité "y" se détermine à partir de la formule $N5/(N4 + N5 + N6)$ et la chromaticité "x" à partir de la formule $N4/(N4 + N5 + N6)$. On peut ensuite tracer point par point un diagramme de chromaticité à l'aide des données obtenues (Figure 4). Etant donné que les concentrations des sédiments en suspension changent, un nuage de points est obtenu dans le diagramme et est appelé lieu géométrique des sédiments (Figure 4). Les changements

reservoir. The study area was completely covered by one Landsat pass and most of the area was covered on one of the adjacent passes. With Landsat 2 and 3 data available, there were 81 possible Landsat passes during which data could be acquired. As pointed out earlier, although sufficient data were acquired during the winter months, only one summer image was obtained and this had partial cloud cover.

For their study of the Peace-Athabasca Delta, Howarth and Wickware required data once a year during approximately the same period during the summer. It proved possible to obtain a good-quality image recorded during July and August for each of the years 1973 to 1976.

For the Roberts Bank Port study, summer imagery was required, but an additional constraint required imagery to be recorded during low tide conditions. For each of the seven years (1973 through 1979), a July or August image was obtained on which the depths of water over the intercauseway vegetation did not exceed 0.6 m. On some images, however, it was difficult to see the entire eelgrass meadow.

Although suspended sediment concentrations and patterns in the Minas Basin are constantly changing, the changes are cyclic with the tides. An important factor in selecting imagery is thus to be able to obtain data from different stages of the tide, from different stages of the lunar cycle (springs and neaps), from different seasons of the year, and with different weather conditions prior to imaging. Over the period of the study, Alföldi and Munday were able to acquire sufficient data to select representative images to cover a large range of different water conditions.

To summarize the availability of Landsat data, in two cases (Peace-Athabasca Delta and Roberts Bank Port) one summer image per year was available. For the Minas Basin, it was possible to find sufficient data acquired over a period of several years. In the LG2 Reservoir study, however, a frequency of once a month using two satellites was insufficient to provide adequate data during the summer months, due to the problem of cloud cover.

The four studies discussed in this paper were not all undertaken at the same time and certain changes in methodology can be deduced upon chronological examination. The work of Alföldi and Munday was the earliest of the four studies to be started.

atmosphériques influencent la détection du lieu géométrique, qui change suivant un axe radial à partir de E, mais on peut corriger les données d'après le lieu géométrique standard d'une région donnée. Il est ainsi possible d'analyser les données reçues de Landsat au cours de plus d'un passage, sans qu'il soit nécessaire de se reporter chaque fois aux données de surface.

Aux premières étapes des travaux, la mise en corrélation de la valeur de la chromaticité "x" avec les concentrations de sédiments en suspension mesurées au moment précis du passage de Landsat constituait un élément important de la vérification du procédé. Amos a prélevé (1976) à dix minutes près du passage de Landsat, des échantillons d'eau de surface à l'aide de bouteilles de type Knudsen ou Nalgene à partir d'un hélicoptère qui visitait les stations d'échantillonnage comprises dans l'étude. L'analyse des échantillons se faisait dans un délai de quelques heures après leur prélèvement. Pendant toute la durée de l'expérience, des échantillons on été prélevés à 108 endroits distincts dans la baie de Fundy. "La corrélation entre les données obtenues par satellite et les données de surface, pour les groupes de données combinés (une fois apportées les corrections rendues nécessaires en raison des conditions atmosphériques), est de 96%, et la marge d'erreur absolue des mesures étalonnées obtenues par satellite est d'environ 44% (Munday *et al.*, 1979:639), et cela pour une gamme de 1 à 1 000 mg par litre.

En résumé, l'application du procédé se fait en plusieurs étapes. Premièrement: il faut enregistrer des ensembles de valeurs numériques Landsat des bandes 4, 5 et 6 et calculer les moyennes pour des séries de matrices de 4 par 6 pixels, qui sont choisies pour assurer une bonne couverture aux régions étudiées. Les données numériques du balayeur multispectral sont converties en radiances à l'aide des facteurs d'étalonnage utilisés pour les capteurs de Landsat. Deuxièmement: vient ensuite la conversion de la chromaticité, y compris le tracé du lieu géométrique des sédiments sur un diagramme de chromaticité et cela pour chaque jour visé dans l'analyse. Troisièmement: un lieu géographique standard est sélectionné, en fonction duquel l'observation d'autres lieux géométriques est corrigée. Quatrièmement: vient ensuite le calcul d'une régression entre les chromaticités du lieu géographique de référence et les données acquises sur le terrain relatives à la concentration des sédiments en suspension. L'emplacement des points sur le terrain est évidemment

However, as the methodology for chromaticity analysis is a unique approach to Landsat analysis, it cannot be adequately included in a chronological discussion. The LG2 Reservoir and the Roberts Bank Port studies were both undertaken before the introduction of DICS data. In both studies, there was no attempt to overlay the data from two dates as part of the Landsat manipulations. In other words, all comparisons of data were done after the Landsat analyses were completed. However, the winter image shown in Colour Plate 2c was analyzed in detail by simultaneous comparison with Landsat images with similar sun angles from preceding winters with similar snow conditions.

Studies on the Peace-Athabasca Delta were conducted both before and after the introduction of DICS data. In the early work, overlays were used for enhancement, and classifications from two dates were compared. There was concern, however, about accurate registration of pixels, particularly for linear classes. In such situations, as there are a relatively large number of boundary pixels, slight misregistration could erroneously indicate a major change in the class (Wickware and Howarth, 1981:23). In later work using DICS data, accurate registration was not a problem. In addition, there was much greater experimentation with enhancements using data from two dates. None of the authors, however, have taken the next step of carrying out classification using four selected bands from two dates -- a procedure that has been used in forestry studies where summer/winter differences can aid in the identification of tree species.

The Roberts Bank Port and the Peace-Athabasca Delta studies are both concerned with vegetation and water. Although there are certain similarities between the two studies, there are, at the same time, subtle differences. First, in both studies, enhancements are used to good effect. For Roberts Bank Port, however, the Bands 5 and 6 combination assigned to the red gun is important in providing a certain amount of water penetration. For the Peace-Athabasca Delta, however, it is combinations of Bands 5 and 7 which provide the required information. With regard to classification, the unsupervised procedure is seen as being more satisfactory than supervised classification for Roberts Bank Port. In the Peace-Athabasca Delta study, however, the situation is reversed. Thus, there is no universal solution that will best provide the answers to understanding change detection in a specific environment. This is further demonstrated in the Peace-Athabasca

important, car la sélection des bons pixels utilisés dans le calcul de la régression en dépend. Finalement, la régression est appliquée selon un mode qui permet d'obtenir les données descriptives des concentrations de sédiments en suspension qui correspondent à des endroits donnés et serviraient à cartographier la distribution des sédiments. La planche en couleur No 5 montre une carte typique de concentration de sédiments en suspension, en l'occurrence du bassin Minas, réalisée grâce à l'analyse de chromaticité.

La baie de Fundy et son prolongement naturel, le bassin Minas, ont été choisis aux fins de l'étude en raison du fait qu'on a proposé d'y construire une centrale marémotrice. Etant donné la forte concentration des sédiments en suspension du bassin Minas, on s'inquiétait de la probabilité que l'arrêt du flux normal des eaux de marée provoque des atterrissements qui feraient rapidement obstacle au fonctionnement de la centrale. L'analyse de chromaticité a fourni des données détaillées qui ont permis de dresser un modèle numérique de prédiction de la sédimentation pour le projet de la baie de Fundy. Selon les résultats du modèle, "on s'attend à ce que la construction de la centrale marémotrice n'entraîne aucune sédimentation appréciable tout au long de son exploitation, ce qui confirme la viabilité du projet de centrale marémotrice" (Munday *et al.*, 1979:639).

DISCUSSION

Les résultats des études susmentionnées permettent de faire certaines observations générales et de tirer des conclusions au sujet de l'utilité des clichés Landsat dans le domaine de la surveillance des changements hydrologiques et côtiers. Premièrement, il importe de noter que, dans ces quatre études, Landsat est perçue comme étant la seule source pratique de données dont il est possible d'obtenir les renseignements nécessaires. Dans le cas du réservoir LG2, il aurait été possible d'utiliser à cette fin du matériel photographique aéroporté aux moments voulus, mais les coûts en auraient été très élevés. Des clichés ont été tirés à l'aide de matériel aéroporté, mais la résolution des images Landsat s'est avérée suffisamment précise pour fournir la plupart des renseignements désirés.

En outre, il serait littéralement impossible d'obtenir, au même moment, des données simultanées sur les concentrations de sédiments en suspension à l'échelle de toute la baie de Fundy, vaste plan d'eau très animé. Les ressources en temps et en argent

Delta study, where for two different combinations of dates (1973/1976 and 1975/1976) the most effective enhancements are produced by two different combinations of bands.

In addition to "true environmental change between the dates being studied" (Wickware and Howarth, 1981:22), there are several potential causes of erroneous changes being recorded, some of which may be counteracted. For example, solar and atmospheric differences between two dates may be counteracted by using radiometric corrections (Ahern et al., 1977a and 1977b). Errors in registration of two images may be overcome by using geometric corrections, as provided by DICS data.

Other problems, however, may not be so readily overcome. For example, phenological differences between two dates could mask environmental change. In addition, errors in pixel training and/or misclassification could also produce erroneous results. Thus, change detection using Landsat data is not a foolproof procedure. Knowledge of the area being studied and care in the analysis of data and in the interpretation of results are essential.

The concept of monitoring involves periodic checking to determine whether or not environmental changes have occurred of which the resource manager should be aware. To do so, it would be advantageous to have a series of permanent training sites available for this task, established in areas that are unlikely to change. Wickware and Howarth (In Prep.) have done so for each class of vegetation in their Peace-Athabasca Delta study area. The aim was to be able to overlay the training sites at exactly the same ground location for any DICS image; these would then be used to classify the scene. To date, this has not been possible, perhaps due to the dynamic nature of the environment. It is believed, however, that the concept is sound; given the availability of DICS data, it is technologically feasible to establish such permanent training sites.

CONCLUSIONS

This paper identifies the types of change that can occur in hydrologic and coastal environments. Changes are seen as being seasonal, short- or long-term, or constant; they may be either natural or man-induced. In many cases, environmental change is best studied using aerial photography, and, in some cases (e.g., ice

nécessaires à la réalisation de neuf levés distincts auraient été d'une ampleur prohibitive.

Les études qui ont porté sur le delta des rivières de la Paix et Athabasca et sur le port de Roberts Bank ont été en partie réalisées à l'aide de données qui avaient déjà été analysées avant le début des études. Comme aucune photographie aérienne ne pouvait fournir les renseignements nécessaires, seuls les clichés Landsat ont servi dans les deux cas. Ces deux études ont d'ailleurs permis de souligner l'importance de collectionner les données Landsat à des fins de référence.

Deuxièmement, il importe de s'arrêter aux résolutions spectrale et spatiale des données. Dans le cas de l'étude du réservoir LG2, les différences de teintes entre l'eau et la terre présentaient un bon contraste et la résolution spectrale était suffisamment nette pour permettre de déterminer avec précision la limite du plan d'eau en n'utilisant que l'analyse visuelle. La résolution spectrale était d'ailleurs suffisamment précise pour permettre d'identifier les zones de végétation inondées en bordure du lac. Toutefois, pendant la saison froide, la neige recouvrait aussi bien la glace que la surface terrestre, ce qui, accouplé au fait que la glace avait redressé la végétation, rendait littéralement impossible la délimitation du plan d'eau.

L'analyse visuelle s'est avérée utile à l'étude portant sur le réservoir LG2, mais l'analyse numérique s'est avérée essentielle à la bonne marche des trois autres études. Au cours de l'étude portant sur le port de Roberts Bank, Tomlins et Thomson (1980) ont tenté d'appliquer des techniques d'analyse visuelle à des données Landsat de 70 mm en utilisant un synthétiseur multispectral et un isodensitomètre. Un problème de dégradation des données s'est posé dans les deux cas, des difficultés d'enregistrement de données compliquant même davantage l'utilisation du synthétiseur multispectral. Ils ont examiné un cliché RBV, mais la résolution spectrale n'était pas suffisamment précise pour permettre le repérage des limites de la végétation. L'analyse numérique s'est donc avérée nécessaire à l'étude des clichés du port de Roberts Bank, aussi bien sur le plan de la résolution spatiale que sur le plan de la résolution spectrale.

Les zones de végétation inondées se distinguent assez nettement (figure 7) sur l'image du delta des rivières Peace et Athabasca, mais aucune analyse ne pourrait

movement and floods), radar may be the most effective sensor.

Landsat, however, has an important monitoring role to play when coverage of large areas is required, when coverage needs to be repeated at frequent intervals and when aerial photographs are not available for the time period being studied. For some studies, Landsat imagery is the only available data source (Peace-Athabasca Delta, Roberts Bank Port), the only technically feasible procedure to provide the data (Bay of Fundy) or the only cost-effective source of data (LG2 Reservoir).

The four referenced studies have demonstrated the capabilities of Landsat imagery for providing information about change in different environments. The studies illustrate that, in spite of similarities between certain environments (e.g., Roberts Bank Port and the Peace-Athabasca Delta), there is no unique method to provide the best results in all cases. Identification of the nature of the problem and the type of information required, and then experimentation, are important elements of each study for effective Landsat use. Given the current 10-year archive of Landsat imagery, the availability of DICS data and the future availability of Landsat and TM data, studies of environmental change are likely to receive increasing emphasis during the current decade.

s'entreprendre sans données numériques. Comme l'ont montré Howarth et Wickware, des données numériques sont nécessaires au repérage des eaux qui subissent des changements, ce qui s'obtient en analysant des images prises à deux moments distincts; l'utilisation des données numériques s'impose également pour obtenir une résolution spatiale suffisamment nette préalable à la sélection des sites d'entraînement et pour fournir une résolution spectrale suffisamment précise permettant de distinguer les types de végétation.

Pour procéder à l'analyse de chromaticité, Alföldi et Munday ont converti leurs données numériques avant de mettre en corrélation les données de chromaticité "x" et les données sur le terrain relatives aux concentrations de sédiments en suspension. De toute évidence, on ne peut mener à bien ce genre d'analyse en utilisant des données visuelles. La plupart des aspects des travaux signalés dans le présent rapport font donc ressortir le caractère essentiel des données numériques Landsat dans la production des résolutions radiométriques et spatiales nécessaires à l'exécution des tâches requises.

Le Landsat-D sera mis en orbite en 1982, ce qui constitue un autre facteur à prendre en considération dans l'étude de la question de la résolution. Le satellite sera doté du "Thematic Mapper" (TM), instrument de cartographie thématique dont les capacités de résolution spectrale (7 canaux) et de résolution spatiale (30 m) améliorées devraient permettre d'obtenir des données plus détaillées que celles que nous procure actuellement le balayeur multispectral Landsat. La faible résolution a jusqu'à maintenant limité l'efficacité du repérage de l'étendue des lits de potamots marins, en particulier sur les clichés du port de Roberts Banks. Utilisant des données acquises à l'aide d'un balayeur multispectral aéroporté, des chercheurs ont simulé l'application des données du Landsat-D à la région du port, leur étude a été couronnée de succès en 1981. On a d'ailleurs proposé de répéter cette étude en 1982 et de la transformer ensuite graduellement en un programme de surveillance opérationnel qui ferait appel aux données de cartographie thématique de Landsat-D lorsqu'elles seraient disponibles.

Lorsqu'on envisage de réaliser une étude faisant appel à Landsat, il importe de tenir compte de la fréquence d'acquisition des données, aux moments désirables durant l'année et de la nécessité d'utiliser ces

données. A titre d'exemple, dans le cas de l'étude qui a porté sur le réservoir LG2, il fallait obtenir des données au moins une fois par mois pendant toute la durée du remplissage du réservoir soit un an. Landsat a pu, en un seul passage, balayer entièrement la zone visée dans l'étude et il a balayé la majeure partie de la région au cours d'une de ses orbites adjacentes. Une fois les données de Landsat 2 et 3 disponibles, 81 autres orbites, Landsat auraient pu embrasser la région et permettre d'obtenir d'autres données utiles à l'étude. Toutefois, tel qu'il a été signalé précédemment, même si les données acquises au cours de la saison froide se sont avérées suffisantes, une seule image a été obtenue pendant la saison chaude, image que les nuages occupaient d'ailleurs partiellement.

Lorsqu'ils ont étudié le delta des rivières Peace et Athabasca, Howarth et Wickware devaient s'approvisionner en données au moins une fois l'an, soit pendant l'été, à peu près à la même période de la saison chaude. De 1973 à 1976, ils ont pu obtenir chaque année, en juillet et en août, de images de bonne qualité.

L'étude du port de Roberts Bank exigeait également la prise d'images pendant la saison chaude, mais, nouvelle contrainte, les chercheurs ont dû se contenter d'images prises à marée basse. Durant chacune des sept années consécutives du projet (de 1973 à 1979), les images avaient été prises, en juillet ou en août, à des moments où le niveau de l'eau au-dessus de la végétation entre les digues ne dépassait pas 0,6 m. La végétation est toutefois difficile à distinguer sur certaines images.

Les concentrations de sédiments en suspension du bassin Minas, de même que la distribution de ces concentrations, changent constamment, mais ces changements s'accordent avec le cycle des marées. La disponibilité de renseignements sur les diverses phases de la marée, sur les diverses phases du cycle lunaire (marées de vives eaux et de mortes-eaux), aux diverses saisons et diverses conditions atmosphériques, avant l'étape de la formation d'images, constitue donc un important facteur de sélection d'imagerie. Au cours de leur étude, Alföldi et Munday ont pu obtenir suffisamment de données pour être en mesure de sélectionner un grand éventail d'images illustrant bien les divers états de la mer.

La question de la disponibilité des données Landsat se résume comme suit: les scientifiques rattachés aux études portant

sur le delta des rivières Peace et Athabasca et sur le port de Roberts Bank ont pu obtenir, chaque année, une seule image par saison chaude. Dans le cas du bassin Minas, les données acquises pendant plusieurs années se sont avérées suffisantes. Toutefois, dans le cas de l'étude qui a porté sur le réservoir LG2, la production réunie d'images (soit une fois par mois) des deux satellites utilisés n'a pu satisfaire aux besoins en données au cours de la saison chaude à cause de problèmes d'enneigement.

Les quatre études passées en revue dans le présent rapport n'ont pas toutes été entreprises simultanément. Leur examen chronologique permettra de constater que certains changements ont été apportés à la méthodologie employée. Alföldi et Munday ont réalisé la première des quatre études. Toutefois, comme la méthodologie propre à l'analyse de chromaticité n'est applicable qu'à l'analyse des images Landsat, elle sera exclue de la revue chronologique. Les deux études qui ont porté sur le réservoir LG2 et le port de Roberts Bank ont été entreprises avant l'introduction des données DICS; on a jugé, dans les deux cas, qu'il serait vain de tenter de juxtaposer les données d'une date avec les données d'une autre date lors du traitement des données Landsat. C'est donc dire que toutes les comparaisons de données ont été réalisées une fois les analyses Landsat achevées. Toutefois, les chercheurs ont analysé dans ses moindres détails, une image (figure 2c) prise pendant la saison froide, en la comparant simultanément avec des images Landsat prises au cours des saisons froides précédentes à des moments où l'angle solaire et les conditions d'enneigement étaient analogues.

Certaines des études qui ont porté sur le delta des rivières de Peace et Athabasca ont été réalisées avant l'introduction des données DICS, et d'autres études, après l'introduction de ce type de données. Au cours des premiers travaux, on a utilisé des diapositives à des fins de rehaussement et l'on a comparé les classifications de deux dates. On s'est toutefois inquiété de l'exactitude de l'enregistrement des pixels, tout spécialement dans le cas des classes linéaires. En effet, étant donné le nombre élevé des pixels qui traduisent l'emplacement des limites, la moindre erreur d'enregistrement pourrait inciter à constater erronément qu'une classe linéaire a subi un changement important (Wickware et Howarth, 1981:23). Au cours des derniers travaux, réalisés à l'aide des données DICS, l'enregistrement des pixels s'est fait avec précision. En outre, les scientifiques ont

fait davantage d'essais de rehaussement à partir de levés effectués à deux dates distinctes. Aucun des auteurs des travaux n'a toutefois franchi l'étape suivante, qui aurait consisté à réaliser une classification au moyen de quatre bandes utilisées à deux dates distinctes — ce procédé a été mis à profit dans le cadre d'études forestières, où les différences entre les clichés de saison chaude et les clichés de saison froide aident à identifier des espèces d'arbres.

Les scientifiques qui ont réalisé les études portant sur le port de Roberts Bank et le delta des rivières Peace et Athabasca ont tous accordé de l'attention à la végétation et aux plans d'eau. Ces deux études affichent certaines particularités analogues, mais aussi certaines différences subtiles. En premier lieu, les procédés de rehaussement sont mis à profit dans les deux cas. Toutefois, la combinaison des bandes 5 et 6 assignée au faisceau rouge a beaucoup contribué à améliorer la pénétration du plan d'eau du port de Roberts Bank. Toutefois, dans le cas du delta des rivières Athabasca et Peace, c'est grâce à des combinaisons des bandes 5 et 7 qu'il est possible d'obtenir les renseignements nécessaires. En ce qui a trait à la classification, la méthode non-supervisée semble donner des résultats plus satisfaisants que la classification supervisée utilisée dans le cas du port de Roberts Bank. Dans l'étude sur le delta des rivières Athabasca et Peace, c'est toutefois l'inverse. Il n'existe donc aucune méthode universelle permettant de comprendre la détection des changements dans un environnement précis. Cela est d'ailleurs démontré dans l'étude sur le delta des rivières Athabasca et Peace, où pour deux combinaisons différentes de dates (1973-1976 et 1975-1976), les rehaussements les plus efficaces sont produits par deux combinaisons différentes de bandes.

Outre le changement environnemental réel qui s'est produit entre les deux dates qui font l'objet d'une étude (Wickware et Howarth, 1981:22), il y a plusieurs causes potentielles d'enregistrement erroné de changements dont certaines peuvent être neutralisées. Par exemple, les différences solaires et atmosphériques entre deux dates peuvent être enrayerées au moyen de corrections radiométriques (Ahern et al., 1977a et 1977b). Les erreurs de superposition de deux images peuvent être neutralisées au moyen de corrections géométriques effectuées à partir de données DICS.

Certains autres problèmes peuvent toutefois ne pas être aussi faciles à

résoudre. Par exemple, des différences phénologiques entre deux dates peuvent masquer un changement environnemental. De plus, des erreurs dans le positionnement des pixels ou une mauvaise classification peuvent aussi entraîner l'enregistrement de résultats erronés. Ainsi, la détection des changements au moyen des données du Landsat n'est pas une méthode infaillible. Il est donc essentiel de bien connaître la région étudiée et d'analyser et d'interpréter les données avec soin.

Le principe de la surveillance suppose des vérifications périodiques permettant de déterminer s'il s'est produit des changements environnementaux dont le gestionnaire des ressources devrait être au courant. Pour effectuer cette surveillance, il serait avantageux d'avoir une série d'emplacement d'apprentissage permanents disponibles à cette fin et établis dans des zones qui devraient subir peu de changements. Wickware et Howarth (en préparation) ont procédé de cette façon pour chaque catégorie de végétation dans leur étude sur le delta des rivières Athabasca et Peace. Ils avaient pour but de superposer les emplacements d'apprentissage exactement au même endroit au sol pour toute image DICS; ces images seraient ensuite utilisées pour classifier la scène. Jusqu'à maintenant, il n'a pas été possible d'y arriver, peut-être à cause de la nature dynamique de l'environnement. Nous croyons toutefois que ce principe est bien fondé; étant donné la disponibilité des données DICS, il est possible, au point de vue technologique, d'établir des emplacements d'apprentissage permanents.

CONCLUSIONS

Ce document donne les types de changements qui peuvent survenir dans des environnements, au point de vue de l'hydrologie et des côtes. Ces changements sont classés comme saisonniers, à court ou à long terme ou constants. Ils peuvent être soit naturels ou provoqués par l'homme. Dans de nombreux cas, la photographie aérienne est le meilleur moyen pour étudier les changements environnementaux et dans certains autres, (par ex.: mouvement des glaces et inondations), le radar peut être le capteur le plus efficace.

Le satellite Landsat joue toutefois un rôle important en ce qui a trait à la surveillance lorsqu'il s'agit de couvrir de vastes régions, lorsque le balayage doit être recommencé à intervalles réguliers et lorsque des photographies aériennes ne sont pas disponibles pour la période qui fait l'objet

d'une étude. Pour certaines études, l'imagerie du satellite Landsat constitue la seule source de données (delta des rivières Athabasca et Peace, port de Roberts Bank), la seule méthode techniquement applicable pour fournir des données (Baie de Fundy) ou la seule source de données rentable (réservoir de LG2).

Les quatre études citées en référence ont démontré que l'imagerie du satellite Landsat permet de fournir des renseignements sur les changements de différents environnements. Ces études démontrent qu'en dépit des similitudes entre certains environnements (par ex.: delta des rivières Athabasca et Peace et port de Roberts Bank),

il n'y a pas de méthode unique qui permette d'obtenir les meilleurs résultats dans tous les cas. La détermination de la nature du problème et du type de renseignements nécessaires et par la suite, l'expérimentation, constituent des éléments importants de chacune des études sur l'utilisation efficace du satellite Landsat. Etant donné que les images du satellite Landsat sont conservées en archive pendant dix ans, que les données DICS sont disponibles et que dans l'avenir il sera possible d'obtenir des données TM, des études sur les changements environnementaux devraient prendre de plus en plus d'importance au cours de la présente décennie.

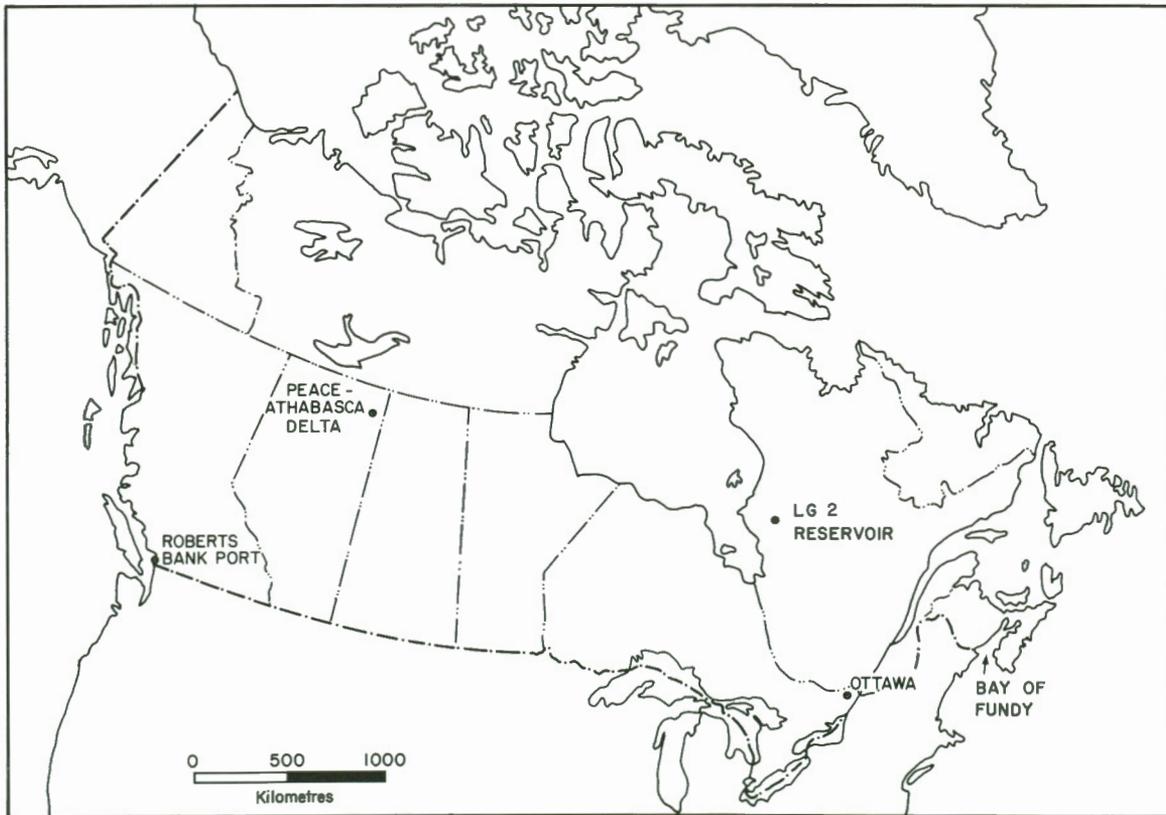


Figure 1.

Table 1

Time-frame for Natural and Man-Induced Changes in the Landscape.
Related to Hydrology and Coastal Environments.

| Change | Hour | Day | Week | Month | Year | 10 Years + |
|-------------|---|-----|------------|-------|--|---|
| | Constant | | Short-Term | | Seasonal | Long-Term |
| Natural | Ice movement at a point | | Flooding | | Ice break-up Snow extent | Glacier advances Coastal erosion or deposition |
| | Suspended sediment concentration and movement | | | | | |
| Man-Induced | Oil spill | | | | Reservoir filling Coastal vegetation monitoring | Drying and flooding of deltas |

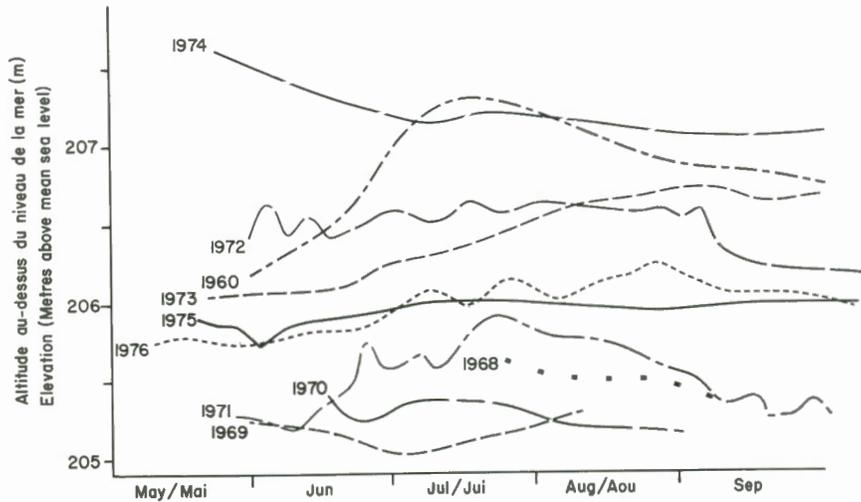


Figure 2.

Tableau 1

Changements du relief qui surviennent de façon naturelle ou sont provoqués par l'homme.
Hydrologie et environnement côtier.

| Changement | Heure | Jour | Semaine | Mois | Année | 10 ans ou plus |
|----------------------|--|------|------------------------|------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| | Constant | | A court terme | | Saisonnier | A long terme |
| Naturel | Mouvement des glaces à un point donné | | Inondation | | Débâcle | Progression des glaciers |
| | | | | | Epaisseur de la neige | Erosion des côtes ou dépôts |
| Provoqué par l'homme | Sédiments en suspension concentration et mouvement | | Déversement de pétrole | | Remplissage des réservoirs | Assèchement et inondation des deltas |
| | | | | | Surveillance de la végétation côtière | |

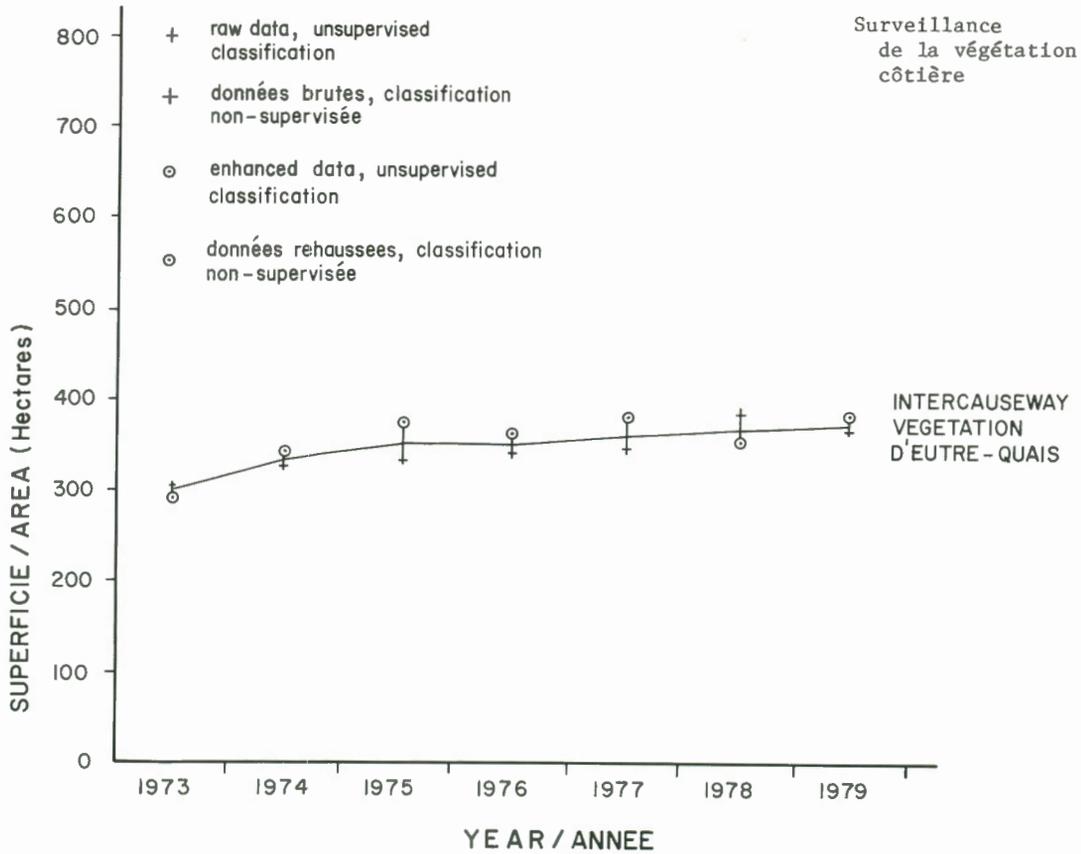


Figure 3.

Tableau 2

Etudes concernant les changements dans l'hydrologie et l'environnement côtier au Canada effectuées au moyen de systèmes de télédétection non-photographiques.

| Changement | Exemple | Principale source de données | Etudes | |
|---|--|---|--|--|
| | | | Zones | Auteur |
| Constant - naturel | Mouvement des glaces à un point donné | Imagerie des radars (au sol et aéroportés) | Mer de Beaufort | Mercer, Lowry et Leung |
| Constant -naturel | Sédiments en suspension concentration et mouvement | Landsat | Baie de Fundy | Alföldi et Munday |
| A court terme - naturel | Inondation | Imagerie des radars | Manitoba | INTERA |
| Saisonnier | Débâcle | Imagerie des satellites météorologiques (plus certaines données obtenues par Landsat) | Arctique Mer de Beaufort Baie Baffin | Dey, Moore et Gregory |
| Saisonnier - naturel | Epaisseur de la neige | " | Yukon et Territoires du N.-O. | Dey, Moore et Gregory Ferguson et Lapczak |
| Saisonnier - provoqué par l'homme (intentionnel) | Remplissage des réservoirs | Landsat | Baie James | Laframboise |
| A long terme - naturel | Progression des glaciers | Landsat | Tweedsmuir, Yukon | Post, Meier et Mayo |
| A long terme - provoqué par l'homme (intentionnel) | Assèchement et inondation | Landsat | Delta des rivières | Howarth et Wickware |
| A long terme - provoqué par l'homme (intentionnel) | Surveillance de la végétation côtière | Landsat | Port de Roberts Bank | Tomlins et Thomson |

Table 2

Studies Related to Change in Hydrology and in Coastal Environments in
Canada Using Non-Photographic Remote Sensing Systems.

| Change | Example | Studies | | Author(s) |
|--|--|---|---|--|
| | | Major Data Source | Areas | |
| Constant -Natural | Ice-movement at a point | Radar imagery (ground and airborne) | Beaufort Sea | Mercer, Lowry & Leung |
| Constant -Natural | Suspended sediment concentration and movement | Landsat | Bay of Fundy | Alföldi & Munday |
| Short-Term -Natural | Flooding | Radar imagery | Manitoba | INTERA |
| Seasonal -Natural | Ice break-up | Weather satellite imagery (plus selected Landsat data) | High Arctic, Beaufort Sea, Baffin Bay | Dey, Moore & Gregory |
| Seasonal -Natural | Snow extent | Weather satellite imagery (plus selected Landsat data) | Yukon, N.W.T. & N.B. | Dey, Moore & Gregory Ferguson & Lapczak |
| Seasonal -Man-Induced (Intentional) | Reservoir filling | Landsat | James Bay | Laframboise |
| Long-Term -Natural | Glacier advances | Landsat | Tweedsmuir, Yukon | Post, Meier & Mayo |
| Long-Term -Man-Induced (Unintentional) | Drying & flooding | Landsat | Peace- Athabasca Delta | Howarth & Wickware |
| Long-Term -Man-Induced (Unintentional) | Coastal vegetation monitoring | Landsat | Roberts Bank Port | Tomlins & Thomson |

Table 3

Percentage Areas of the Water and Vegetation Classes Identified for the 170 x 170 Pixel Test Area in the Peace-Athabasca Delta. (Source: Wickware and Howarth, In Prep.).

| Class Name | Percent Area | |
|--|---------------|---------------|
| | 1975 | 1976 |
| Turbid Open Water | 53.91 | 60.07 |
| Less Turbid Open Water | 13.41 | 5.77 |
| <u>Scolochloa - Carex</u> ¹ | 7.23 | 2.92 |
| <u>Scolochloa - Carex</u> ² | 7.02 | 12.87 |
| <u>Calamagrostis</u> | 3.06 | 4.55 |
| Immature Fen/ <u>Scirpus</u> | - | 3.60 |
| Fen/ <u>Salix</u> | 1.95 | - |
| <u>Carex</u> | - | 7.24 |
| Sparsely Vegetated Mudflats | 6.55 | 0.28 |
| Unclassified | <u>6.87</u> | <u>2.70</u> |
| Totals | <u>100.00</u> | <u>100.00</u> |

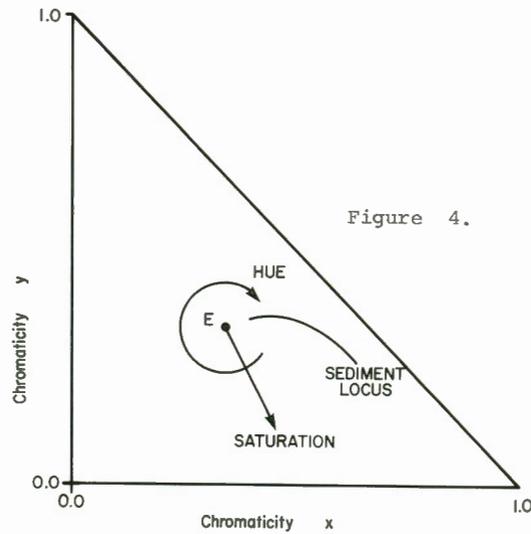


Tableau 3

Pourcentages de la superficie couverte par les catégories d'eau et de végétation identifiées dans la zone d'essai de 170 x 170 pixel, dans le delta des rivières Athabasca et Peace. (Source: Wickware et Howarth, en prép.).

| Nom de la catégorie | Pourcentage de la superficie | |
|--|------------------------------|---------------|
| | 1975 | 1976 |
| Eau libre turbide | 53.91 | 60.07 |
| Eau libre moins turbide | 13.41 | 5.77 |
| <u>Scolochloa - Carex</u> ¹ | 7.23 | 2.92 |
| <u>Scolochloa - Carex</u> ² | 7.02 | 12.87 |
| <u>Calamagrostis</u> | 3.06 | 4.55 |
| Tourbière non mature/ <u>Scirpus</u> | - | 3.60 |
| Tourbière/ <u>Salix</u> | 1.95 | - |
| <u>Carex</u> | - | 7.24 |
| Bancs de vase (peu de végétation) | 6.55 | 0.28 |
| Non classifié | <u>6.87</u> | <u>2.70</u> |
| Totaux | <u>100.00</u> | <u>100.00</u> |

Table 4

Change Matrix Indicating Percentage of Habitat Overlap¹ Between 1976 and 1973 (from Wickware and Howarth, 1981).

| 1976 Habitat Class | 1973 Habitat class | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|--|----------------------|
| | Turbid open water | Less turbid open water | <u>Scolochloa/Scolochloa-Carex</u> | Wet <u>Carex fen</u> | <u>Carex/Calamagrostis fen</u> | Shrub fen/fen <u>Salix-Alnus-Populus</u> | <u>Picea-Populus</u> |
| Turbid open water | 77.9 | 12.1 | - | - | - | - | - |
| Less turbid open water | 8.1 | 65.1 | 1.2 | 3.0 | 2.5 | 11.7 | - |
| <u>Scolochloa/Scolochloa-Carex</u> | - | 13.9 | 9.8 | 3.2 | 6.6 | 51.6 | - |
| Wet <u>Carex fen</u> | - | 1.8 | 2.7 | 15.1 | 33.2 | 28.0 | - |
| <u>Carex/Calamagrostis fen</u> | - | 1.7 | 2.4 | 18.3 | 33.0 | 24.0 | - |
| Shrub fen | - | 2.4 | 3.5 | 2.9 | 9.0 | 70.4 | - |
| <u>Salix-Alnus-Populus</u> | - | - | - | 3.5 | 14.1 | 48.9 | 2.0 |
| <u>Picea-Populus</u> | - | 8.6 | - | - | - | 31.0 | 51.6 |

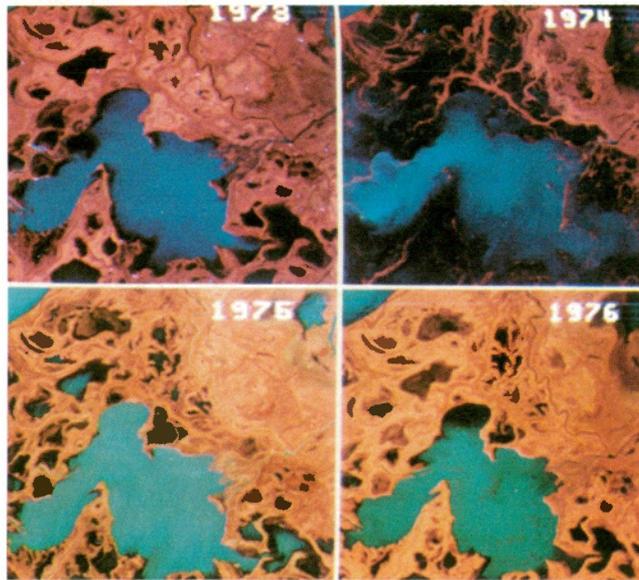
¹Percentage overlaps are expressed relative to 1976 habitats.

Tableau 4

Modification de matrice indiquant le pourcentage de recouvrement du milieu entre 1976 et 1973 (tiré de Wickware et Howarth, 1981).

| Catégorie du milieu - 1976 | Catégorie du milieu - 1973 | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--|--------------------|--|--|---------------------------------|
| | Eau libre turbide | Eau libre moins turbide | <u>Scolochloa/</u> <u>Scolochloa-</u> <u>Carex</u> | Tourbière de Carex | Tourbière Calamagrostis/ <u>Carex</u> | Tourbière d'arbustes <u>Salix-Alnus</u> <u>Populus</u> | <u>Picea-</u> <u>Populus</u> |
| Eau libre turbide | 77.9 | 12.1 | - | - | - | - | - |
| Eau libre moins turbide | 8.1 | 65.1 | 1.2 | 3.0 | 2.5 | 11.7 | - |
| <u>Scolochloa/scolochloa-Carex</u> | - | 13.9 | 9.8 | 3.2 | 6.6 | 51.6 | - |
| Tourbière de <u>Carex</u> | - | 1.8 | 2.7 | 15.1 | 33.2 | 28.0 | - |
| Tourbière <u>Carex/Calamagrostis</u> | - | 1.7 | 2.4 | 18.3 | 33.0 | 24.0 | - |
| Tourbière d'arbustes/ tourbière | - | 2.4 | 3.5 | 2.9 | 9.0 | 70.4 | - |
| <u>Salix-Alnus-Populus</u> | - | - | - | 3.5 | 14.1 | 48.9 | 2.0 |
| <u>Picea-Populus</u> | - | 8.6 | - | - | - | 31.0 | 51.6 |

¹Les pourcentages de recouvrement sont exprimés par rapport aux milieux de 1976.



Peace-Athabasca

Plate-Planche 1

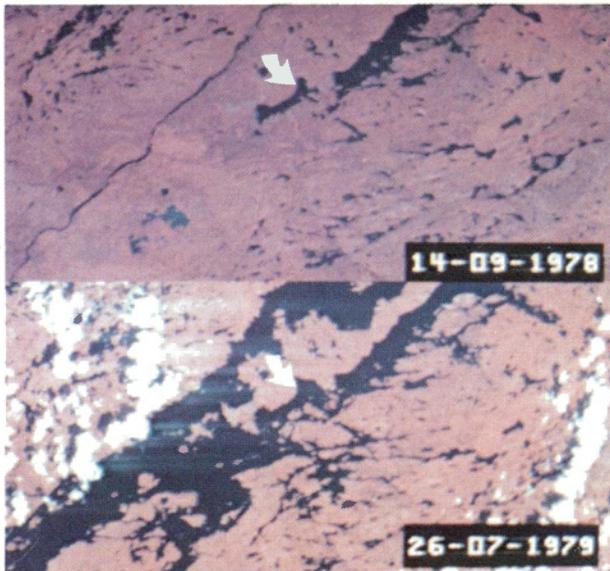


Plate-Planche 2a
LG-2 1978/79

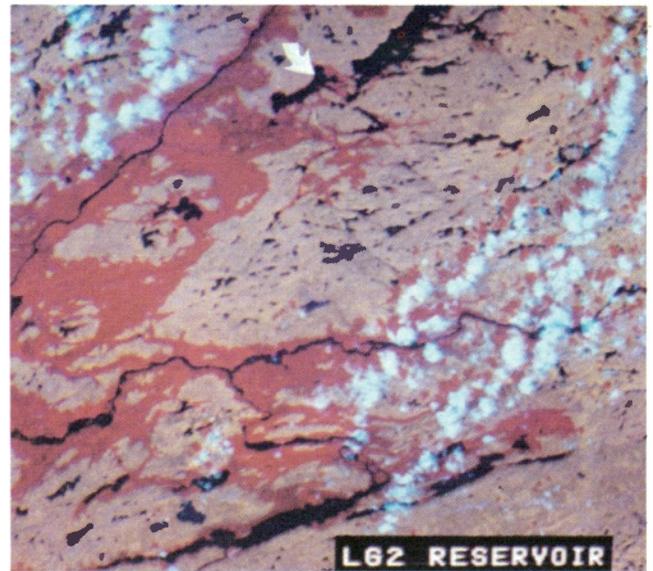
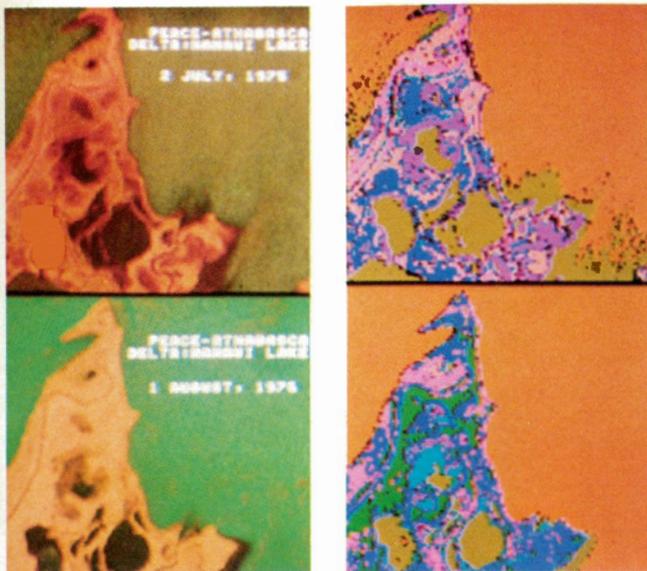


Plate-Planche 2b
LG-2 changes/changements



Plate-Planche 2c
LG-2 Standard product/produit normalisé



1975/76 les classifications
 Plate-Planche 3
 Mamawi Lake/Lac Mamawi

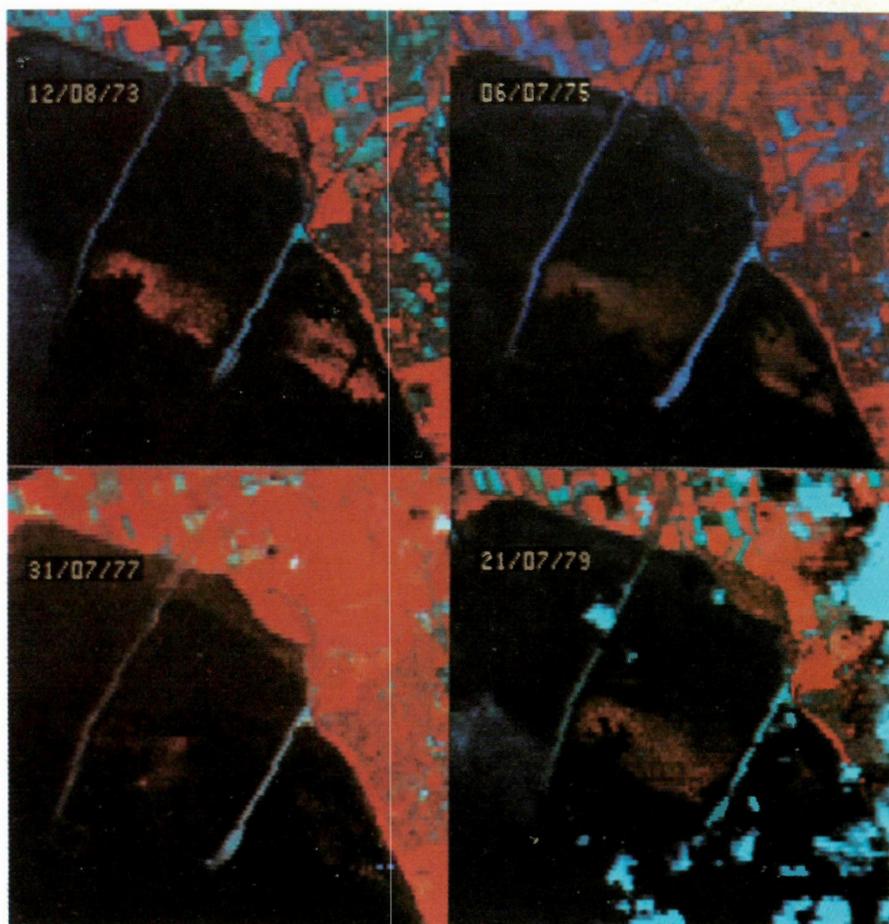


Plate-Planche 4
 Roberts Bank Port/Port de Roberts Bank

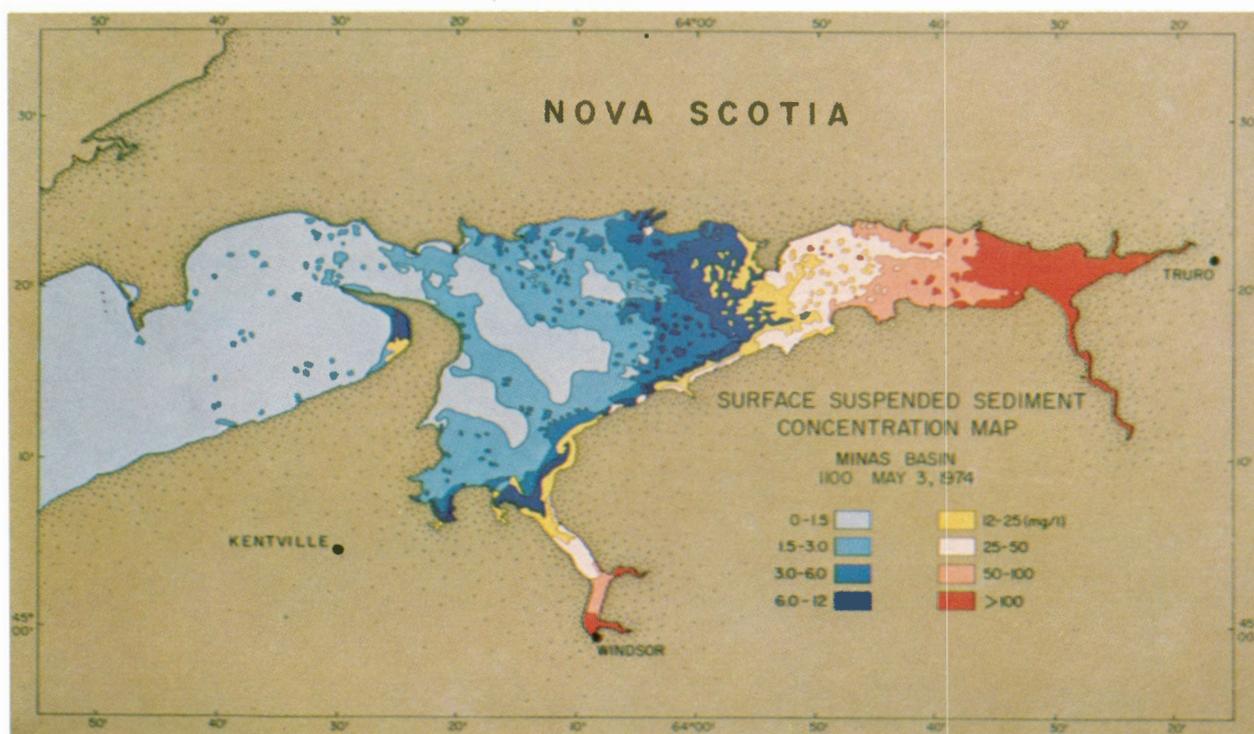


Plate - Planche 5

(Amos, 1976)

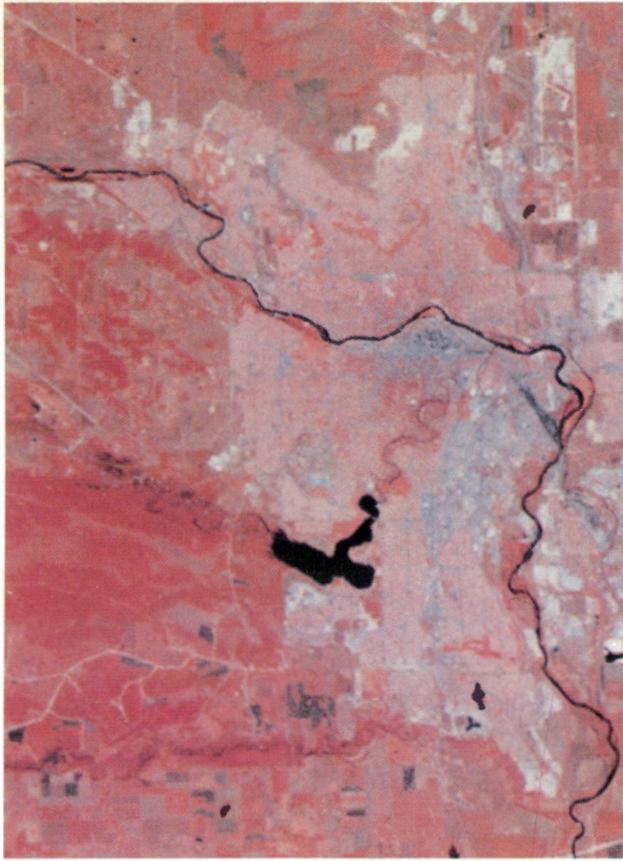


Plate-Planche 6a
Calgary 1975

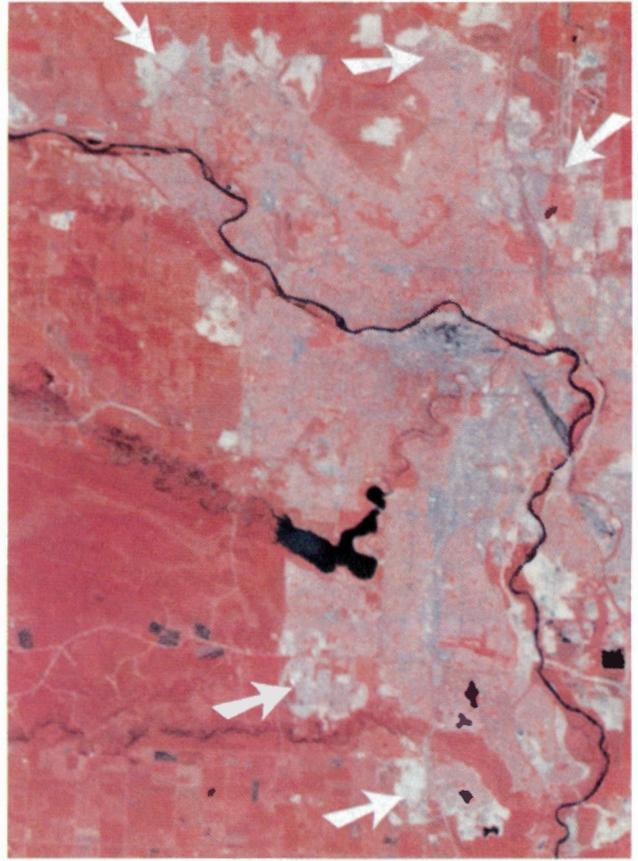
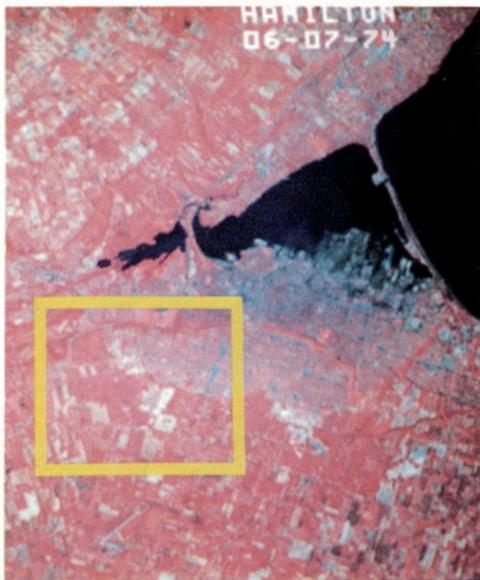
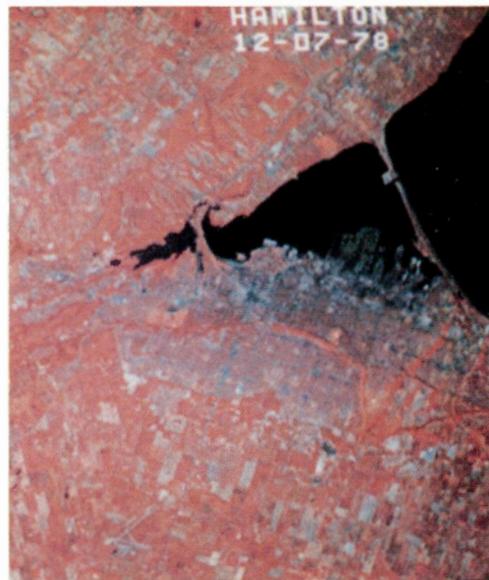


Plate-Planche 6b
Calgary 1981



1974



1978

Plate-Planche 7
Hamilton

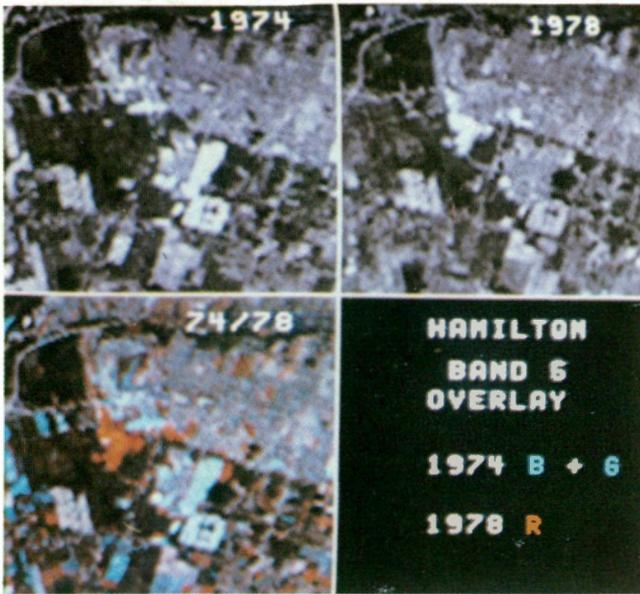
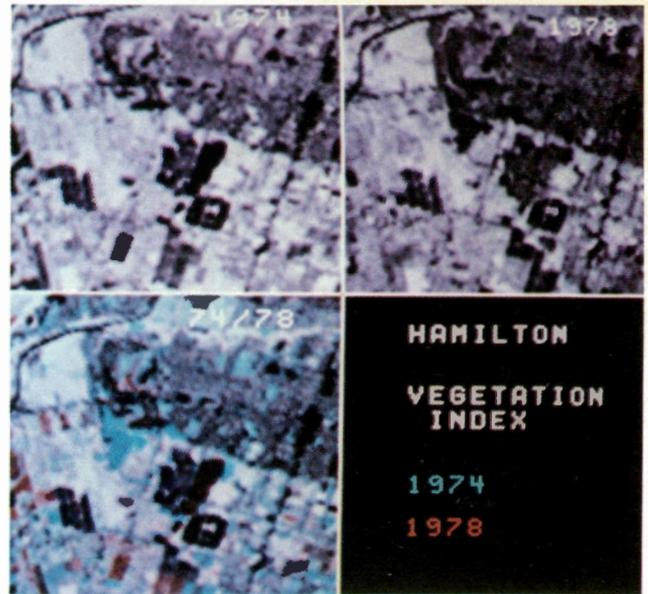
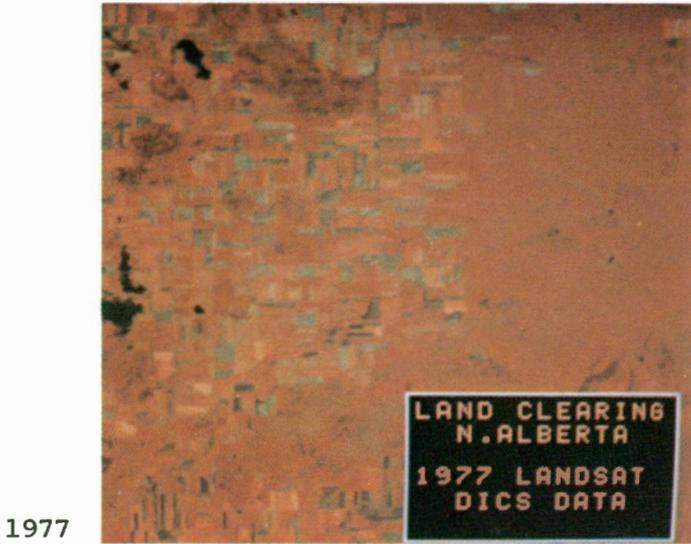


Plate-Planche 8
Band 5 Overlay/superposition de la
bande 5

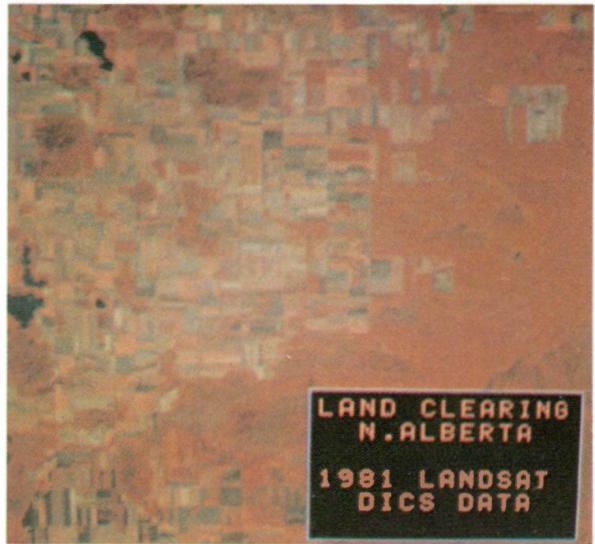


Hamilton Plate-Planche 9
Vegetation index/indice de végétation



1977

Plate-Planche 10a



1981

Fort Vermillion

Plate-Planche 10b



Plate-Planche 10c
Fort Vermillion
Changes 1977/81/les changements
1977/81

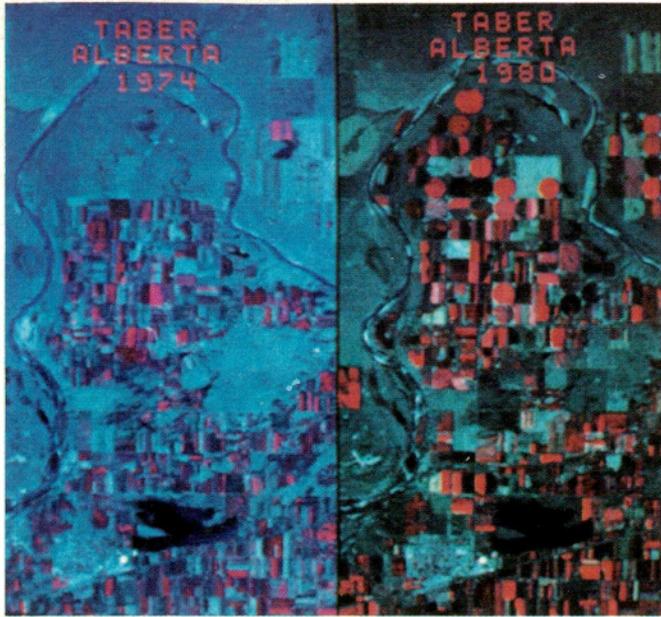


Plate-Planche 11
Taber

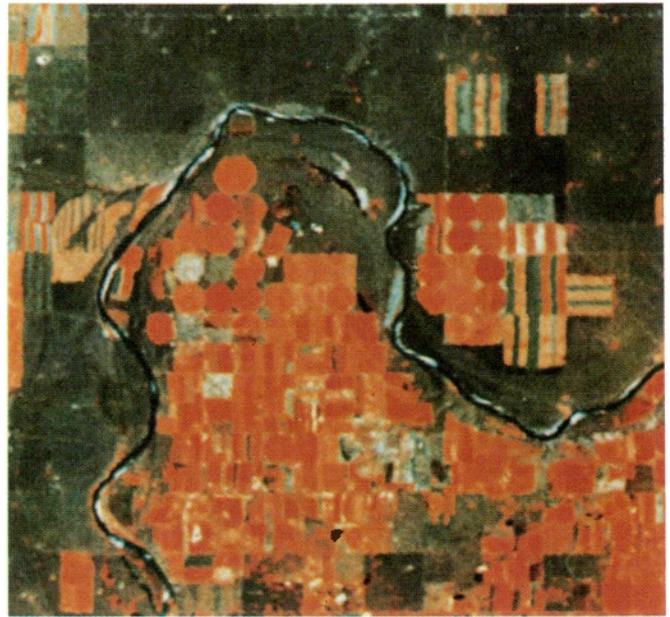


Plate-Planche 13
Taber region/la région de Taber

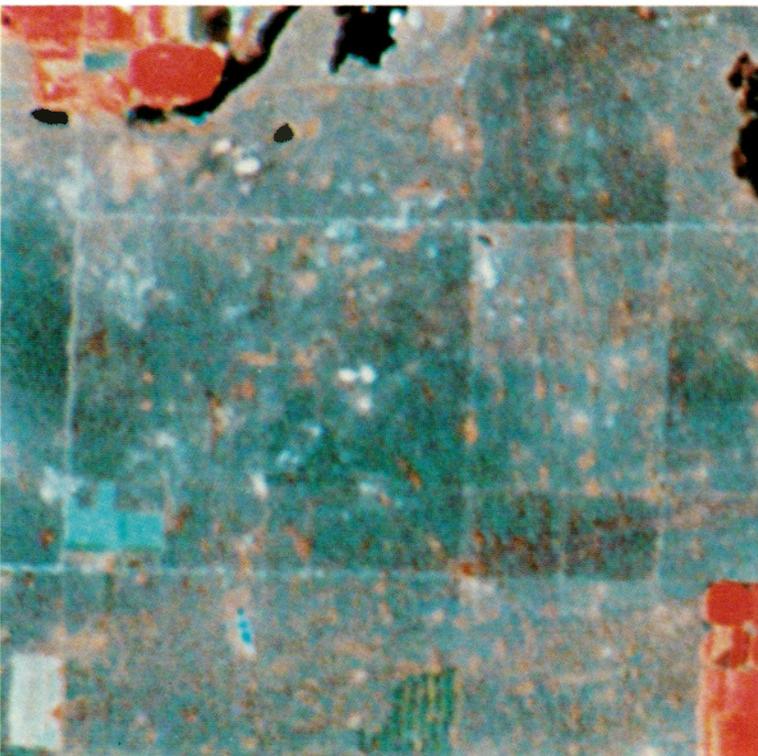


Plate-Planche 12a
Bow Island
Enhanced/réhaussé

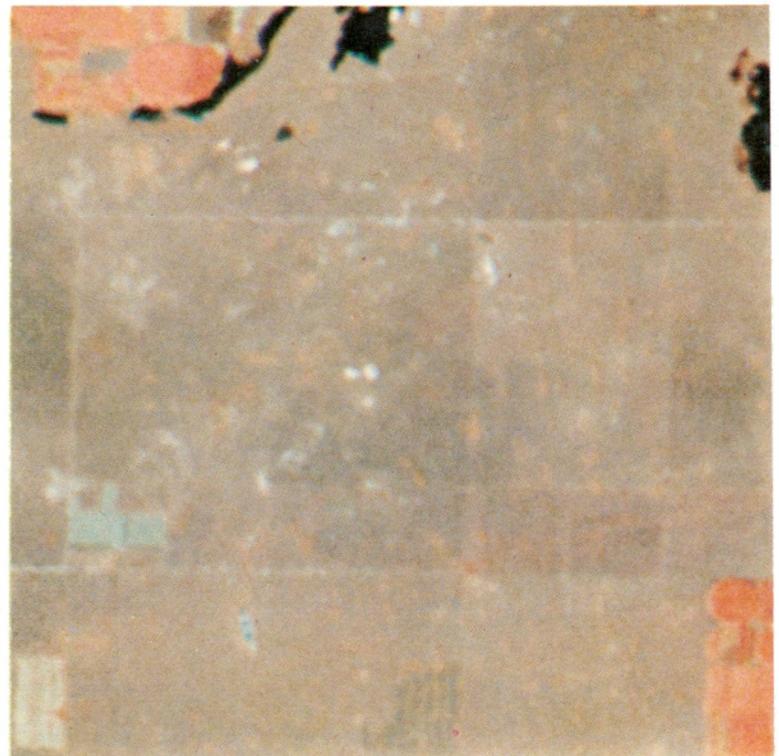


Plate-Planche 12b
Bow Island
Standard product/produit normalisé

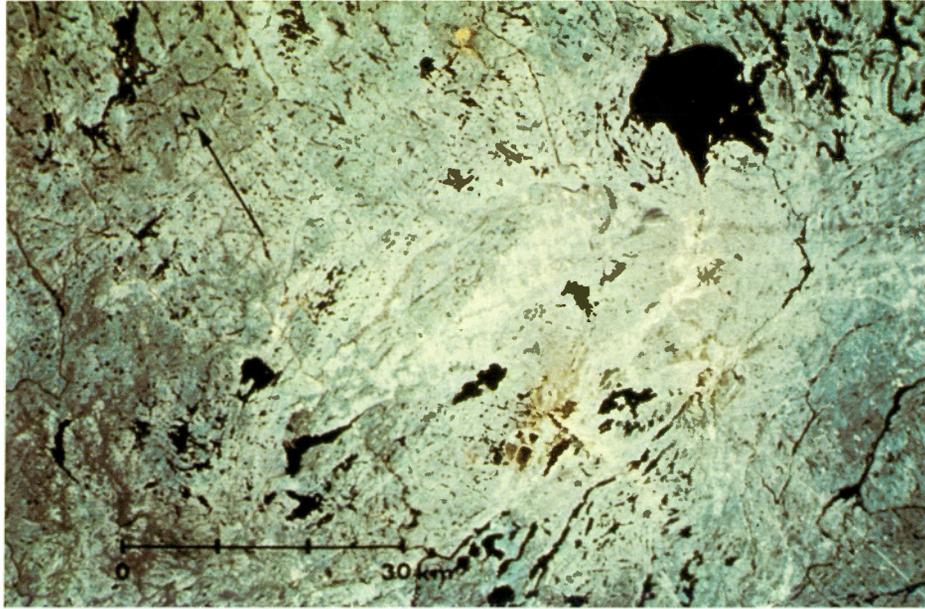


Plate-Planche 14

SUDBURY

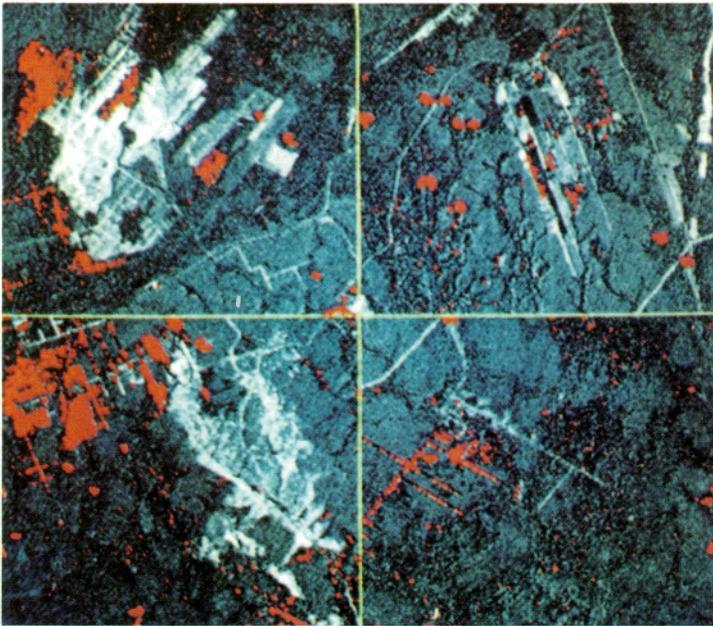


Plate-Planche 15a

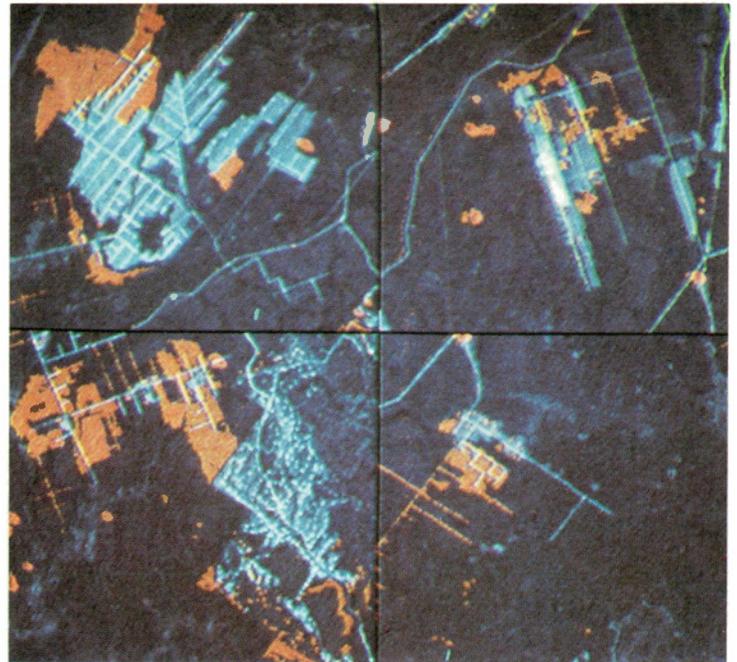
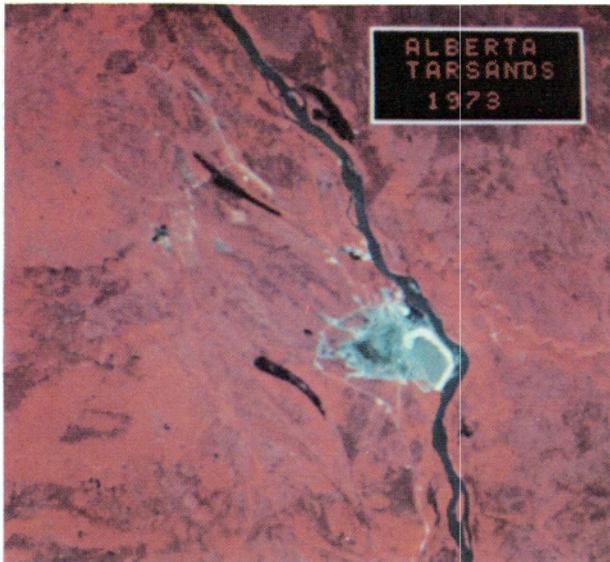


Plate-Planche 15b
change/changement = orange

NEW BRUNSWICK/NOUVEAU-BRUNSWICK



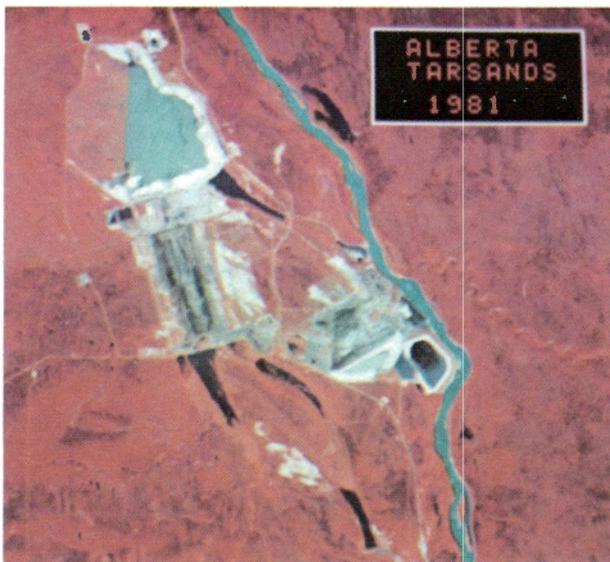
1973

Plate-Planche 16a



1976

Plate-Planche 16b



1981

Plate-Planche 16c

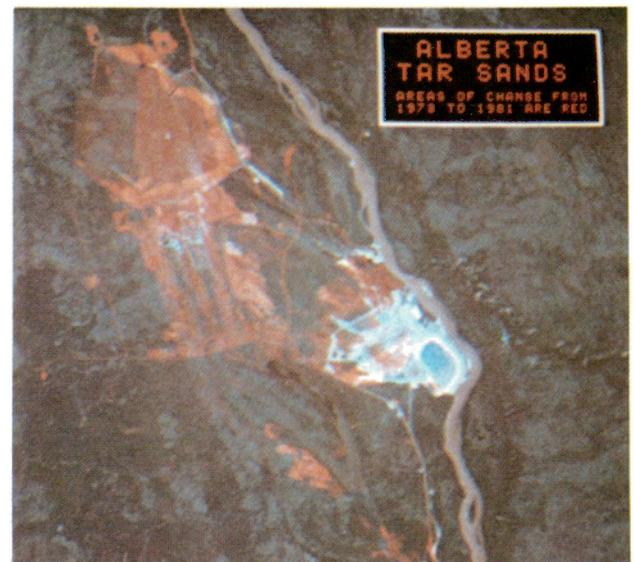


Plate-Planche 16d
Changes/les changements

Tar Sands/sables bitumineux

LANDSAT FOR MONITORING AGRICULTURAL INTENSIFICATION AND URBANIZATION IN CANADA

UTILISATION DU SATELLITE LANDSAT POUR LE CONTROLE
DE L'INTENSIFICATION AGRICOLE ET DE L'URBANISATION AU CANADA

by/par

Robert A. Ryerson¹

F.J. Ahern¹ E. Boasson² R.J. Brown¹ P.J. Howarth² N.A. Prout³
C. Rubec⁴ P. Stephens⁵ K.P.B. Thomson¹ K.L.E. Wallace³ R. Yazdani⁶

1. Canada Centre for Remote Sensing, Energy Mines and Resources, 717 Belfast Road, Ottawa, Ontario K1A 0Y7
 2. Department of Geography, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario L8S 4K1
 3. INTERA Environmental Consultants Ltd., 4th Floor, 785 Carling Avenue, Ottawa, Ontario K1S 5H4
 4. Lands Directorate, Environment Canada, Ottawa, Ontario K1A 0E7
 5. Visiting Scientist at the Canada Centre for Remote Sensing
 6. Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B. E3B 5A3
1. Centre canadien de la télédétection, Energie, Mines et Ressources, 717, chemin Belfast, Ottawa (Ontario) K1A 0Y7.
 2. Département de géographie, Université McMaster, 1280, ouest, rue Main, Hamilton (Ontario) L8S 4K1.
 3. Intera Environmental Consultants Ltd., 4^e étage, 785 avenue Carling, Ottawa (Ontario) K1S 5H4.
 4. Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0E7.
 5. Scientifique invité au Centre canadien de télédétection.
 6. Département des levés techniques, Université du Nouveau-Brunswick, Frédéricton (N.-B.) E3B 5A3.

INTRODUCTION

Canada has a predominantly urban society, yet at the same time the country is a major agricultural producer and exporter. There are urban pockets featuring dense population and rapid change, and also settlements suffering population decline. In general, Canada's agriculture is not as land intensive as that found in most of the world, but it is intensifying in certain areas and more land is being brought into production. These apparent paradoxes can be largely explained in terms of regional variations.

Within Canada there are regional differences. Rapid urban growth and agricultural intensification are more prevalent in the west, while in parts of the east, urban growth is more subdued and farm abandonment has occurred. Each of these differences, and its implications for monitoring agricultural and urbanization changes, is further complicated by the jurisdictional roles of various levels of government. In general, monitoring is done within one or more provincial jurisdictions; hence, compatibility is not guaranteed at the national level. Within this context then, the use of Landsat for monitoring changes in human settlements and agriculture in Canada is addressed.

A Canadian geographer writing in 1974 about Landsat, noted that "in both the regional description and regional dynamics aspects of geography, ERTS (now Landsat) is clearly a very complete data source" (Falconer, 1974). This and similar views, concerning the usefulness of Landsat for mapping geographic change, appeared early in the Landsat program in Canada. The emphasis on mapping dynamic aspects or changes is particularly important. Given that Canada is a large, resource-rich country with a small population, it should not be surprising that ambitious mapping programs had been initiated prior to Landsat. These programs have produced a variety of maps, some of which have characterized agricultural potential and present land use (McClellan, 1965).

Since the majority of these maps were produced prior to Landsat, the Landsat-related emphasis in Canada has been placed on using Landsat for updating these urban/agricultural data sources, rather than on producing original maps (Gierman and Ryerson, 1975; Rubec and Thie, 1978; Schubert, 1978). There are, therefore, very few examples of work which compare before and after using only Landsat data; many more

Le Canada, société à prédominance urbaine, est également un grand pays exportateur et producteur de produits agricoles. La population canadienne se répartit en zones urbaines où l'on constate un développement dense et une évolution rapide, cependant en habitats clairsemés, l'on constate un déclin de la population. En général, l'agriculture canadienne ne se pratique pas de façon aussi intensive que dans la plupart des pays du monde; toutefois elle se pratique de façon de plus en plus intensive dans certaines zones et davantage de terres sont mises en exploitation. Ces paradoxes apparents peuvent en grande partie s'expliquer en termes de variations régionales.

Il existe au Canada des différences régionales. Une croissance urbaine rapide et une intensification agricole prévalent surtout dans l'Ouest, tandis que dans certaines régions de l'Est, la croissance urbaine en perte de vitesse, est accompagnée d'un exode rural. Ces différences régionales et leurs répercussions sur le contrôle de l'évolution de l'agriculture et de l'urbanisation, se compliquent davantage par suite des rôles et compétences des différents ordres de gouvernement. En général, ce contrôle s'effectue dans le cadre d'une ou de plusieurs compétences provinciales; dès lors, on ne peut être assuré que ce contrôle soit compatible au niveau national. Dans ce contexte, il y a lieu d'évaluer l'utilisation de Landsat aux fins du contrôle de l'évolution des habitats humains et de l'agriculture au Canada.

Un géographe canadien notait en 1974 à propos de Landsat qu'au niveau de la description régionale et des aspects de la dynamique régionale de la géographie, le satellite de ressources terrestres (rebaptisé Landsat) représente clairement une source de données très complètes (Falconer, 1974). Des opinions du même ordre, concernant l'utilité de Landsat pour l'établissement de la cartographie de l'évolution géographique, sont clairement reprises au début du programme Landsat au Canada. L'accent placé sur l'établissement de la cartographie des aspects ou des modifications dynamiques est particulièrement important. Etant donné que le Canada est un pays immense, riche en ressources et dont la population est restreinte, il ne faut pas se surprendre que des programmes de cartographie ambitieux aient été entrepris avant l'avènement de Landsat. Ces programmes ont permis de

compare Landsat to other data sources. In this paper, both before and after Landsat imagery are used to give a synoptic view of change from a single data source.

Also important for change detection are the geometrically corrected Landsat DICS data which allow multi-date pixel-by-pixel comparisons because the data can be overlaid to single-pixel accuracy (Guertin et al., 1979). These data reduce the problems associated with multi-temporal registration which have been encountered elsewhere (Lodwick, 1979; Stow et al., 1980).

The changes addressed herein can vary on several scales of time and space. Changes in crop vigour may be assessed over one season for one crop or vegetation type, or over several seasons (Brown et al., 1981). Spatial changes in intensity of land use may be monitored for a portion of a city, for a whole city and its hinterland (Prout, 1980), for a small rural region (Rubec and Thie, 1978), or for a much larger region (Gierman and Ryerson, 1975). These changes may be monitored over a few years (Rubec and Thie, 1978), over five to 10 years (Gierman and Ryerson, 1975), or over more than a decade (Prout, 1980). The time and space scales are, to some extent, mutually dependent. For example, as the spatial and/or temporal dimensions increase, the usefulness of the information available from Landsat increases.

In the following sections, a number of applications of Landsat drawn from earlier publications (often including reformatting of both old and new images for this report), or from work not previously published are presented. Each is discussed in terms of study area, problem description, methodology analysis procedures, and results.

LAND USE CHANGE

Introduction

As noted, there have been several major studies involving land use and Landsat. Landsat data have proved most valuable for land use studies where large-area phenomena are being studied (Gierman et al., 1975), where significant changes are being monitored (usually implying an extended period) (Prout, 1980), and where the land use changes are manifested in changes in vegetation cover (Boasson, 1981; Rubec and Thie, 1978). Given shorter time scales and/or smaller areas, Landsat data have not been as suitable as conventional methods for general land use mapping (Boasson, 1981; Rubec and Thie, 1978). Similarly, where there are no

produire différentes cartes. Certaines ont déterminé l'utilisation actuelle des terres et les possibilités au niveau agricole (McClellan, 1965).

La majorité de ces cartes ayant été produites avant Landsat, les efforts déployés au Canada dans le cadre de son utilisation ont été axés sur la mise à jour des sources de données urbaines et agricoles, plutôt que sur l'établissement d'une cartographie originale (Gierman et Ryerson, 1975; Rubec and Thie, 1978, Schubert, 1978). Il existe dès lors très peu d'exemples de travaux qui permettent de comparer la situation "avant et après" uniquement à l'aide des données de Landsat; beaucoup de travaux permettent de comparer Landsat à d'autres sources de données. Landsat est utilisé dans ce document, tant avant son avènement qu'après, pour permettre une visualisation sommaire de l'évolution à partir d'une source unique de données.

Pour déceler cette évolution, il convient également de noter les données du système de correction des images numériques (DICS) de Landsat, corrigées géométriquement, qui permettent les comparaisons "pixel par pixel" multidates; les données peuvent ainsi être superposées pour obtenir une précision jusqu'au pixel (Guertin et autre, 1979). De telles données permettent d'éviter les problèmes évidents associés à la superposition multitemporelle qui se sont manifestés ailleurs (Lodwick, 1979; Stow et autres, 1980).

Les changements étudiés dans le présent document peuvent varier en fonction d'échelles différentes de temps et d'espace. Il est possible d'évaluer l'évolution de la vitalité des cultures soit au cours d'une saison donnée dans le cas d'une catégorie de cultures ou de végétation, soit au cours de plusieurs saisons (Brown et autres, 1981). L'évolution spatiale de l'intensité de l'utilisation des terres peut être contrôlée dans le cadre d'un quartier, de l'ensemble d'une ville et de son arrière-pays (Prout, 1980), d'une petite région rurale (Rubec and Thie, 1978), ou d'une région beaucoup plus étendue (Gierman et Ryerson, 1975). Cette évolution peut être contrôlée au cours de quelques années (Rubec and Thie, 1978), sur une période de cinq à dix ans (Gierman et Ryerson, 1975), durant une décennie ou davantage (Prout, 1980). Les échelles de temps et d'espace sont, dans une certaine mesure, mutuellement interdépendantes. Par exemple, à une augmentation des dimensions spatiales et temporelles correspond un

significant differences between cover type appearances for various land use classes, Landsat is of little benefit (Schubert, 1978). However, where only changes are to be monitored, Landsat data have proven quite useful (Boasson, 1981).

The specific studies which are incorporated into this review show the chronological development and application of Landsat analysis for land use studies in Canada. Selected for inclusion are studies by Gierman and Ryerson (1975), Rubec and Thie (1978), Prout (1980) and Boasson (1981).

The explorative work by Schubert (1978) is not discussed in depth, although it is obvious that the problems uncovered with regard to digital analysis for land use and the resultant recommendations have had considerable impact on subsequent work. As should perhaps be expected in Canada's small remote sensing/land use community, each of the four selected studies, as well as that of Schubert, has referenced and drawn extensively upon the earlier studies.

Study Areas

The studies were carried out in areas which included: two urban environments--Halifax County, Nova Scotia and Hamilton, Ontario; a 500 km² rural area of Manitoba including the town of Neepawa; and a mainly forested region consisting of the non-agricultural portions of the Great Lakes Basin excluding urban areas over 25,000 (1971) population (Figure 1).

Halifax County is situated on the Atlantic coast, occupying the south-central and eastern parts of Nova Scotia. The twin cities of Halifax-Dartmouth and their suburbs within this county have a regional population of more than 270,000. The area is vegetated by mixed forest of the Acadian Forest Region, bogs and coastal heath-shrub associations. Agriculture has developed inland on fertile valley lands, but elsewhere thin, stony soil prevails and agriculture is not extensive.

The second urban study was a comparative analysis of several remote sensing techniques, including Landsat, for both land use mapping and land use change detection in a region of 1300 km² centered on Hamilton, Ontario.

The Manitoba study area of 500 km² comprised the west half of NTS sheet 62J/3. The town of Neepawa, Manitoba lies in the northwest corner of the area. Open prairie, aspen parkland and oak-aspen forest are major

accroissement de l'utilité des données que peut fournir Landsat.

Dans les chapitres qui suivent, on présente un certain nombre d'applications de Landsat tirées de publications antérieures (qui font souvent intervenir une reformulation des images, tant anciennes que nouvelles, aux fins du présent rapport), ou des travaux qui n'ont pas été publiés antérieurement. Chaque application est traitée en fonction des domaines d'études, des descriptions de problèmes, des méthodes utilisées, des analyses exécutées et des résultats.

EVOLUTION DE L'UTILISATION DU SOL

Introduction

Comme noté précédemment, bon nombre d'études importantes ont traité de l'utilisation du sol et de Landsat. Les données de Landsat se sont révélées des plus utiles aux fins des études sur l'utilisation du sol lors de l'étude des phénomènes relatifs à de grandes zones (Gierman et autres, 1975), où des changements marqués sont observés (normalement sur une longue période) (Prout, 1980) et là où l'évolution de l'utilisation du sol résulte de modifications à la couverture végétale (Boasson, 1981; Rubec et Thie, 1978). Les données de Landsat ne se sont pas révélées aussi pertinentes que les méthodes classiques aux fins de l'établissement de la cartographie générale de l'utilisation du sol (Boasson, 1981; Ruvec et Thie, 1978) lorsqu'elles étaient fonction d'échelles de temps plus courtes ou de zones plus restreintes. De même, en l'absence de différences marquées entre les genres de couche aux fins de différentes catégories d'utilisation du sol, l'utilisation de Landsat offre peu d'avantages (Schubert, 1978). Toutefois, lorsque le contrôle ne s'exerce que sur des modifications, les données de Landsat se sont révélées très utiles (Boasson, 1981).

Les études particulières intégrées à cette revue font état de l'évolution chronologique et de l'application de l'analyse effectuée à l'aide de Landsat aux fins des études sur l'utilisation du sol au Canada. Les études retenues sont celles de Gierman et Ryerson (1975), de Rubec et Thie (1978), de Prout (1980) et de Boasson (1981).

Les travaux exploratoires de Schubert (1978) ne sont pas traités en détail, bien que de toute évidence, les problèmes soulevés relativement à l'analyse numérique dans le

vegetation communities. A flood control reservoir, Lake Irwin, numerous small prairie wetlands, rolling cropland, improved dairy pasture and the Arden Ridge Community Pasture dominate this mainly agricultural landscape. The region lies on glacial Assiniboine Delta sands with mainly Black Chernozem soils. The Neepawa region has a temperate boreal climate, with cold winters and warm, dry summers (Rubec and Thie, 1978).

The northern Ontario area, mapped under the auspices of the Pollution from Land-Use Reference Group (PLUARG) of the International Joint Commission (I.J.C.), consisted of the entire Great Lakes Basin in Ontario. Landsat data were not used for mapping the northern agricultural areas, nor for the urban areas of Thunder Bay, Sault Ste. Marie or Sudbury. The region mapped by Landsat is largely uninhabited, commercial boreal forest. Within the area are smaller urban centres, mines, pulp mills and services for both transportation and tourism. The total area mapped was over 100,000 km² (Gierman and Ryerson, 1975).

These study areas represent the major types of physical landscape and changing land uses noted across eastern Canada and the parkland prairie. More dramatic urban changes are found in Alberta and British Columbia. An example of this dramatic change is depicted in Colour Plate 6, which shows Calgary in 1975 and in 1981.

Problem Descriptions

The land use problems addressed range from a large-area mapping program carried out jointly by CCRS and Lands Directorate, Environment Canada (Gierman and Ryerson, 1975) to two evaluations of methods based on classification procedures used by the Lands Directorate (Prout, 1980; Rubec and Thie, 1978) and, finally, to a graduate thesis evaluating various methods developed by others (Boasson, 1981).

One similarity among all of the projects is the attempt to address specific information needs. One project dealt with an immediate need for the I.J.C. (Gierman and Ryerson, 1975), two others with the requirement of large area planning information (Prout, 1980; Rubec and Thie, 1978), while the third evaluated the latest technologies for providing useful information

cas de l'utilisation du sol et les recommandations qui en ont résulté ont eu des répercussions considérables sur les travaux ultérieurs. Comme on pourrait sans doute s'y attendre dans le cas d'un petit groupe consacré à la télédétection et à l'utilisation du sol au Canada, chacune des quatre études retenues de même que celle de Schubert se sont fortement inspirées d'études antérieures.

Domaines d'étude

Ces études ont été entreprises dans des régions qui comprennent deux environnements urbains, soit celui du Canton d'Halifax (Nouvelle-Ecosse) et Hamilton, (Ontario), une région rurale de 500 km² au Manitoba qui comprend la ville de Neepawa et une région surtout forestière qui comprend les portions non-agricoles du bassin des grands Lacs, excluant les zones urbaines de plus de 25 000 habitants (1971). (Voir figure 1).

Le Canton d'Halifax qui est situé sur la côte Atlantique, occupe les parties centre sud et est de la Nouvelle-Ecosse. La population régionale des villes jumelées de Halifax-Dartmouth et de leurs banlieues est supérieure à 270 000 habitants. La végétation de cette région comprend des forêts mixtes de la région de la forêt Acadienne, des marécages et des associations de bruyère et de bosquets sur la côte. L'agriculture s'est développée à l'intérieur des terres dans des vallées fertiles, mais ailleurs, la couche superficielle est mince et rocailleuse et l'agriculture n'y est pas pratiquée de façon extensive.

La deuxième étude urbaine comprend une analyse comparative de différentes techniques de télédétection, y compris celles associées à Landsat, tant pour l'établissement de la cartographie de l'utilisation du sol que pour la détection de l'évolution de l'utilisation du sol dans une région de 1 300 km² concentrée sur Hamilton (Ontario).

La zone de 500 km² étudiée au Manitoba correspond à la moitié ouest de la feuille SNRC, 62J/3. La ville de Neepawa, au Manitoba, est située dans le coin nord-ouest de la zone. La prairie découverte, les bosquets de trembles et les forêts de chênes et de tremble constituent les principaux groupements de végétation. Un réservoir de contrôle des eaux, le lac Irwin, plusieurs petites prairies marécageuses, des terres cultivées accidentées, des pâturages amendés axés sur l'exploitation laitière et le pâturage de la collectivité d'Arden Ridge dominant ce paysage principalement agricole.

for the urban planner on land use and land use change (Boasson, 1981).

In accordance with the Boundary Waters Treaty of 1909 and the Water Quality Agreement of 1972, the I.J.C. was requested by the governments of Canada and United States to conduct a study on pollution of the boundary waters of the Great Lakes systems caused by agriculture, forestry and other land use practices. Only one part of the sub-tasks, a land use inventory of the northern, non-urban Canadian part of the Great Lakes Basin is discussed here. Carried out in 1973-74, it was the earliest large-scale land use mapping done with Landsat in Canada.

The present land use classification was originally designed to meet data needs related to water runoff and pollution, but was generalized in the northern part of the basin to reflect the nature of land use and to accommodate the Landsat imagery's capabilities. The classes agreed upon by the PLUARG Technical Committee were forest (including burns and cutovers), swamp and marshy ground, bare rock, excavation (open pit mines), urban and developed land (including industry) and agriculture/rangeland (Ryerson and Gierman, 1974).

The two studies in Halifax and Manitoba used the Canada Land Inventory (CLI) Present Land Use Classification System (Table 1) as the basis for mapping (Halifax) and for change detection and mapping (Manitoba).

In the Halifax example, a subset of the available airborne and spaceborne imagery was qualitatively examined in a format which would be familiar to most photo interpreters, to determine its utility for land use/cover mapping. The detectable land classes were identified, the characteristics of the imagery which facilitated the interpretation noted, and the results, limitations and parameters of the imagery discussed (Prout, 1980). Part of the study was to suggest alternatives for forthcoming land use mapping and image selection and to comment on the relevance of future sensors.

In the Manitoba example, the focus was on evaluation of Landsat data for land use change detection using one of the four methods evaluated by Weismiller et al. (1977). They found the best method was to be "post classification comparison": two sets of land use classification information for a study area are compared on class-by-class (theme by theme) maps, and then the overlaid

La région repose sur des sables glaciaires du Delta Assiniboine et les sols sont surtout de type Chernozem noir. Le climat de la région de Neepawa est de type de boréal tempéré, c'est-à-dire que les hivers sont froids et les étés sont chauds et secs (Rubec et Thie, 1978).

La région du nord de l'Ontario, dont la carte a été dressée sous les auspices du groupe de référence sur la pollution découlant de l'utilisation du sol (PLUARG) de la Commission mixte internationale (C.M.I.), comprenait l'ensemble du bassin des grands lacs en Ontario. Toutefois, les données de Landsat n'ont pas été utilisées dans le cas des régions agricoles du nord, ni dans le cas des zones urbaines de Thunder Bay, de Sault Ste-Marie ou de Sudbury. La région, dont la carte a été dressée par Landsat est en grande partie inhabitée et constituée de forêts boréales destinées à l'exploitation commerciale. Dans la région, on retrouve de plus petits centres urbains, des mines, des usines de pâte et des services axés sur le transport et le tourisme. La superficie de la région dont la carte a été dressée était supérieure à 100 000 km² (Gierman et Ryerson, 1975).

Les régions étudiées représentent les principales catégories de reliefs et d'évolution de l'utilisation du sol relevées dans l'Est du Canada et dans les prairies et parcs naturels. L'évolution urbaine la plus marquée, constatée en Alberta et en Colombie-Britannique, est illustrée par l'exemple de Calgary (planche couleur No. 6).

Description des problèmes

Les problèmes relatifs à l'utilisation du sol sont repris tant dans le cadre d'un programme de cartographie de régions étendues entrepris conjointement par le CCT et la Direction générale des terres d'Environnement Canada (Gierman et Ryerson, 1975) que dans le cadre de deux évaluations de méthodes effectuées par la Direction générale des terres (Prout, 1980; Rubec et Thie, 1978) et, enfin, par une thèse d'évaluation par degrés de différentes méthodes élaborées par d'autres (Boasson, 1981).

Presque tous les projets gardent certaines similitudes, notamment lorsqu'ils tentent de traiter des besoins précis en matière de données. Un projet traite de

land use themes are compared for change detection. In addition, the Manitoba project was also to provide an indication of the accuracy with which various land use classes in the area could be mapped.

The work in Hamilton was to evaluate several remote sensing systems to determine their capabilities for providing land cover/use information (Boasson, 1981). The work in this project done with Landsat MSS visual and digital data, as well as an analysis of RBV data, was of particular interest.

Methodology, Analysis and Results

Each of the four projects dealt with real mapping problems. Although their results were not all positive, useful conclusions resulted.

In both the Halifax and Manitoba examples the Canada Land Inventory (CLI) Present Land Use Classification (PLUC) was used. In the northern Ontario work, a modified CLI PLUC was used. Boasson (1981), in the Hamilton project, used a modified version of Anderson et al. (1976) which is similar to that used in the other studies above. In other respects the various projects were quite different. In terms of methodology, analysis and results, the four applications should be considered in chronological order: the northern Ontario work, Manitoba, Halifax, and then Hamilton examples, since they build on one another's procedures and findings. Indeed, not only do these works build on each other, there is cross-fertilization with other disciplines in Canada and abroad and borrowing/sharing of methods and procedures. (Banner and Lynham, 1981; Yazdani et al., 1981; Howarth and Wickware, 1981; Bonn et al., 1982 and Howarth et al., 1982). Through such cross-fertilization the same errors are seldom repeated, and technically strong and useful work has resulted in Canada from a few studies at a relatively low cost.

The first example in northern Ontario was part of a larger study, as noted above. In both the northern and southern urban regions, high-altitude, normal colour photography was used in the manner detailed in the original papers (Gierman and Ryerson, 1975). Existing CLI data were used for both the non-urbanized areas and for smaller urban centres whose land use had not changed greatly since the original CLI land use data were collected.

besoins immédiats dans le cas de la C.M.I. (Gierman et Ryerson 1975), deux autres traitent des besoins du gouvernement en matière de données (Prout, 1980; Rubec et Thie 1978), tandis que le troisième projet évalue les dernières techniques permettant de fournir des renseignements utiles à l'urbaniste relativement à l'utilisation du sol et à l'évolution de cette utilisation (Boasson 1981).

Conformément au Traité sur les eaux limitrophes de 1901 et à l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands lacs de 1972, les gouvernements du Canada et des Etats-Unis ont demandé à la C.M.I. d'entreprendre une étude sur la pollution des eaux limitrophes du réseau hydrographique des grands lacs, pollution imputable à l'exploitation agricole, forestière et à d'autres utilisations du sol. Seul un volet des sous-fonctions, soit un inventaire de l'utilisation du sol de la section canadienne du nord et non-urbaine du bassin des Grands lacs est repris ici. Etabli en 1973-1974, il s'agit du premier tracé de carte à grande échelle sur l'utilisation du sol exécuté au Canada à l'aide de Landsat.

La classification actuelle de l'utilisation du sol était destinée à l'origine à combler les besoins en données portant sur l'écoulement et la pollution des eaux; toutefois, elle a par la suite été généralisée dans la partie nord du bassin pour tenir compte du mode d'utilisation du sol et des possibilités de Landsat en matière d'imagerie.

Le Comité technique PLUARG a convenu des catégories suivantes: les forêts (y compris les brûlis et les zones déboisées), les sols marécageux et les marais, la roche nue, les excavations (mines à ciel ouvert), les terres cultivées et les zones urbaines (y compris les zones industrielles) et les zones agricoles et de pâturage (Ryerson et Gierman, 1974).

Les deux études exécutées par la Direction des terres à Halifax et au Manitoba portaient sur l'utilisation du Système de classification selon l'utilisation actuelle des terres de l'inventaire des terres du Canada (I.T.C.) (voir le tableau 1) comme fondement pour des travaux de cartographie (Halifax) et pour l'identification des changements du sol et la préparation de cartes (Manitoba).

Dans le cas de Halifax, les responsables des travaux ont étudié les aspects qualitatifs d'un sous-ensemble

The northern areas in the basin, which were not covered by the CLI, are generally uninhabited, as noted above. Landsat data from 1973-74 and topographic information were expected to give the general levels of classification used in the southern reaches of the basin. The minimum mapping unit in the north was 63 ha. The 1:250,000 scale NTS map sheets contained much of the required land use information; this was verified and supplemented by visual interpretation of Landsat colour composite imagery using a zoom transferscope. The land use categories were delineated on stable-base mylar drawing material and then input to the Canada Geographic Information System (CGIS). Verification of the results using aircraft overflights and/or ground transects, were restricted to the southern urban areas. The lack of detailed systematic ground verification in the north, compared to the south, is a problem quite thoroughly dealt with in later studies.

Although accuracies were not documented, the resulting maps were cost-effective, met the user's needs and were able to map gross changes in land use.

In the Manitoba study independently derived maps of 1976 and 1970 land uses were entered into the Canada Land Data System (CLDS) or CGIS using a modified CLI classification (agriculture and improved pasture were combined in one class, productive and unproductive forest in another). These maps provided the ground data for the subsequent evaluation of the Landsat analysis. Both supervised and unsupervised methods were used to generate thematic maps of the same area, using data from August 1972, and August and December 1976. The results for each method were registered to each other, changes noted and maps produced (DICS data were not yet available at this time).

To assess the procedures, classification results and changes were compared with those obtained from the CLDS analysis. Results showed that rangeland was overestimated in the Landsat data by a factor of two, while urban uses were overestimated by a factor of five. The first appeared to result from confusion with grains and improved pasture, the second with bare fields, a problem also found by Schubert (1978). The combined results for agriculture/improved pasture were "satisfactorily estimated" as 82 to 84% of the CLDS estimate; wooded areas were estimated at 94 to 106% of the CLDS estimate. In the wetland class, many small potholes and

d'images aériennes et d'images obtenues par satellite afin de déterminer son utilité à des fins de cartographie du terrain et de l'utilisation du sol. Ils ont utilisé une technique familière à la plupart des préposés à l'interprétation de photos. Ils ont donc déterminé les catégories identifiables de terres puis relevé les particularités des images qui en facilitent l'interprétation et enfin ils ont étudié les résultats, les limites et les paramètres (Prout, 1980). D'autres possibilités quant aux prochains travaux de cartographie de l'utilisation du sol et au choix d'images devraient être proposées et leur pertinence pour les futurs capteurs feront l'objet d'une étude.

Dans le cas du Manitoba, l'étude portait surtout sur l'évaluation des données Landsat à des fins d'identification des changements dans l'utilisation du sol au moyen de l'une des quatre méthodes évaluées par Weismiller et associés (1977). Ils trouvèrent que la méthode de "comparaison après classification" est la meilleure: deux jeux de renseignements en matière de classification selon l'utilisation du sol pour une région visée par l'étude sont comparés sur des cartes, classe par classe (thème par thème); les thèmes d'utilisation du sol sont eux aussi comparés afin de déterminer les changements. Par ailleurs, le projet exécuté du Manitoba devait également fournir une indication de la précision des cartes préparées pour différentes classifications selon l'utilisation du sol dans la région.

A Hamilton, les travaux consistaient à évaluer quelques systèmes de télédétection afin de déterminer s'ils permettaient d'obtenir des données sur l'utilisation et la couverture des terres (Boasson, 1981). Au cours du projet, les travaux ont été effectués à l'aide de données numériques et visuelles Landsat MSS; l'analyse des données RBV présentait quant à elle un intérêt particulier.

Méthode, analyse et résultats

Tous les quatre projets portaient sur des problèmes véritables de cartographie. Même si les résultats des projets ne sont pas tous positifs, tous les participants en sont arrivés à des conclusions utiles. Il est donc possible d'effectuer, entre autres, une critique des méthodes adoptées et d'analyser leurs résultats respectifs.

Dans le cas des projets exécutés à Halifax et au Manitoba, les responsables se sont servis du système de classification

wetland vegetation bordering on lakes were removed by 3x3 spatial filter, reducing the accuracy for such small features.

For land use change, Landsat data showed 54.8% of the Manitoba area had "changed", while the CLDS showed 16.4% between 1972 and 1976. Sources of error in the satellite land use classification maps may have included: (1) either or both Landsat maps have erroneous, point-by-point classification due to erroneous spectral training or poor training-site selection; (2) spectral signatures for a specified land use vary from date to date and even within the same data subscene; or (3) registration of the two subscenes was imperfect (Rubec and Thie, 1978).

In conclusion, Rubec and Thie (1978) stated that Landsat data are quite useful for synoptic summarization of land use/cover in this test area (500 km²). "Total wooded cover, agricultural land and open water are all well classified (82-95% accurate) using August data. Winter data with snow cover allow reasonably accurate mapping of wooded land (93% accurate), agricultural land and certain cultural features such as roads.

Comprehensive automated land use monitoring is not yet feasible due to spectral classification and data registration problems. However, Landsat monitoring and mapping of wooded cover in this prairie environment provides data comparable to conventional air photo analysis and CLDS interpretation" (Rubec and Thie, 1978: 143-44).

The results indicated that changes in intensification in agriculture (from range/pasture to crops) were not easily mapped, nor were changes in urban uses. These conclusions, although valid at that time, are probably subject to some revision now, in light of changes in data available and the methods and procedures outlined by Prout (1980) and Boasson (1981).

In introducing the Halifax study, Prout (1980:308) reviewed a number of previous studies, including two of those noted here. She summarized the results by noting that they "indicated that there were problems of scale, resolution, class differentiation and registration of images from different dates to monitor changes". In addition to interpretation problems, she noted that "analysis equipment is either not available or used for other purposes in the regions where land use mapping is presently carried out. The costs involved in acquiring the

selon l'utilisation actuelle du sol de l'Inventaire des terres du Canada. Pour les travaux exécutés dans le nord de l'Ontario, les responsables ont dû modifier le système de classification. Dans le projet de Hamilton, Boasson (1981) a utilisé une version modifiée de la méthode de Anderson et associés (1976) qui ressemble à la méthode utilisée par les études mentionnées. A d'autres points de vue, les projets étaient très différents. Pour ce qui est de la méthode, de l'analyse et des résultats, les quatre applications doivent être considérées dans un ordre chronologique: le nord de l'Ontario, le Manitoba, Halifax et Hamilton puisque les méthodes et les conclusions reposaient sur le projet exécuté précédemment. Outre de s'enchaîner, ces travaux comportent également un échange avec d'autres disciplines au Canada et à l'étranger ainsi qu'un échange et un partage de méthodes et de procédures. (Voir Banner et Lynham, 1981; Yazdani et autres, 1981; Howarth et Wickware, 1981; Bonn et associés, 1982 et Howarth et associés, 1982). En raison de ces échanges, les mêmes erreurs sont rarement répétées et des travaux très utiles et à caractère hautement technique ont donc pu être réalisés au Canada à partir de quelques études réalisées à un coût relativement faible.

Comme mentionné ci-dessus, le cas du Nord de l'Ontario faisait partie d'une grande étude. Dans les régions urbaines du Nord et du Sud, des photos couleurs normales prises à haute altitude ont été utilisées de la façon expliquée en détail dans les premiers documents de travail (Gierman et Ryerson, 1975). Les données existantes ont été utilisées pour les régions non urbanisées et pour les plus petits centres urbains où l'utilisation du sol n'a pas changé beaucoup depuis qu'ont été rassemblées les premières données sur l'utilisation des terres de l'I.T.C.

Les régions du Nord qui ne sont pas couvertes par l'I.T.C. sont habituellement inhabitées à quelques exceptions près comme aux emplacements des mines, des usines de pâtes et papiers et des installations de services pour le tourisme et le transport. Les données fournies par Landsat entre 1973 et 1974 et les renseignements topographiques devaient permettre de déterminer des niveaux généraux de classification utilisés dans les parties sud du bassin. L'unité cartographique minimale dans le nord 63 hectares dans le nord. Les cartes au 1/250 000 du Système national de références cartographiques comprenaient une bonne partie de l'information nécessaire sur l'utilisation du

analysis equipment and training are in many cases beyond the means of the agencies requiring current land use/cover information. These agencies already have photo interpreters experienced with mapping from black and white aerial photography; application of these skills to other remotely sensed imagery should be possible. Development of the techniques to incorporate other data sources into programs of land use mapping will provide more flexibility and a better monitoring capability than when relying on one type of sensor or single data source".

Prout then previewed all data in black and white paper print formats to be consistent with her orientation to simple methods based on traditional skills which use imagery applicable in both the laboratory and field. Interpretation was done by mirror stereoscopes and/or hand magnifiers. Landsat images have also been photographed with 35 mm photography for subsequent projection at 1:50,000 scale. A comprehensive procedural outline was followed to allow a comparison among the various methods in terms of interpretative methods used, classes mapped, and features within the class which were recognizable. In this way, results could be obtained to allow a comparison between the various data sources and to assess their usefulness.

Prout (1980) drew several conclusions. First, a variety of remote sensing data sources can provide complementary information, but all require field checking. Second, it is not necessary to use the same remote sensing data for updating a map as was used to produce the original. (Indeed, frequency of coverage is greater with a variety of sources). Thirdly, a combination of RBV photographs and digitally enlarged MSS prints is an "optimum alternative to aerial photography" (Prout, 1980:316). Lastly, visual interpretation using tone or colour and pattern is likely to remain the primary methodology.

In the Hamilton study, a wider variety of data sources and image types were evaluated as sources of land use information. As in the studies previously noted, considerable use was made of earlier work; however, unlike the other studies, newer data sources such as DICS digital data were used with methods drawn from recent forestry (Banner and Lynham, 1981) and agricultural work (Yazdani et al., 1981). Colour Plate 7 shows 1974 and 1978 DICS data of Hamilton displayed on a CRT. Changes are readily visible.

sol. Ces renseignements étaient ensuite vérifiés et complétés par une interprétation visuelle des images couleurs Landsat au moyen d'une lunette de transfert à focale variable. Les catégories d'utilisation du sol sont délimitées sur une feuille de mylar sur support fixe puis introduites dans le Système d'information géographique du Canada (CGIS). Les vérifications au sol des résultats, effectuées par avion ou transect du sol, étaient limitées aux régions urbaines du Sud. Le manque de vérifications systématiques détaillées du sol des régions du Nord comparées à celles du Sud constitue un problème qui a été presque complètement réglé au cours d'études ultérieures. Même si le degré de précision n'est pas indiqué, les cartes obtenues étaient rentables, répondaient aux besoins des usagers et permettaient de relever les changements dans l'utilisation du sol.

Au cours de l'étude exécutée au Manitoba, les résultats des travaux déjà effectués aux Etats-Unis ont servi pour le choix des méthodes.

D'abord les cartes de 1970 et 1976 sur l'utilisation du sol ont été ajoutées au Système de données sur les terres du Canada (CLDS ou CGIS) en modifiant le système de classification de l'I.T.C. (les terres agricoles et les pâturages ont été groupés dans une seule catégorie, les zones forestières productrices et non-productrices dans une autre). Ces cartes ont fourni les données sur le terrain pour les analyses ultérieures de Landsat au cours desquelles des méthodes supervisées et non-supervisées ont été utilisées pour la préparation de cartes thématiques de mêmes régions. Au moyen des données obtenues en août 1972 et août et décembre 1976, les résultats ont été enregistrés pour l'une ou l'autre des catégories, les changements notés et des cartes on ensuite été préparées. (Les données DICS n'étaient pas encore disponibles à ce moment).

A fin d'évaluer les méthodes, les résultats de la classification et les changements on été comparés à ceux obtenus des analyses du CLDS. Les résultats ont montré que les dimensions des grands pâturages on été surestimés du double selon les données du Landsat tandis que les données sur l'utilisation urbaine étaient cinq fois trop élevées. La première erreur semble attribuable à une confusion entre les pâturages améliorés et les champs de céréales tandis que la deuxième est due à un mélange avec le sol nu. Ce problème fut également relevé par Schubert en 1978. Les résultats

Boasson evaluated images from both airborne and spaceborne sensors. From Landsat he used MSS DICS prints, transparencies and digital data, and RBV black-and-white prints at a scale of 1:500,000. Points for training and testing were selected using stratified random sampling from a UTM grid (Boasson, 1981). Aerial photography at a scale of 1:10,000 plus some field checks served as verification data. As noted previously, a modification of Anderson's land use classification was used (Anderson et al., 1976).

Comparisons among the results obtained for land use classification by various methods were made. The accuracy of the analysis of Landsat data was similar to those found in the previous studies. He concluded that for general classification visual analysis was more accurate than automated classification (87 to 89.2% and 80.9%, respectively), while for more detailed classification accuracies are from 20 to 30% lower. In addition, he found that accuracies for higher resolution RBV were similar to those of Landsat MSS (Boasson, 1981:105-120). Boasson also specified the time required to map the 4800 km² study area using the digital analysis procedures: five hours for training and three for classification. The resulting eight-class map was 55% accurate, or 64% for those classes used for training (Boasson, 1981).

Boasson's most important contribution is in the demonstration of the utility of geometrically corrected DICS data with simple methods devised elsewhere in Canada (Banner and Lynham, 1981; Yazdani et al., 1981) for monitoring land use change. Given the virtually perfect overlay capability of DICS data, scene-to-scene registration is no longer the problem it was in the past (e.g., Rubec and Thie, 1978). Four enhancement methods for change detection were outlined: overlay, ratios, subtraction, vegetation index. One post-classification method was evaluated.

In the first of the four enhancement procedures, the overlay method, one band (the same for each date) is selected and displayed on the CRT with blue and green assigned to the band from one date (1974) and red assigned to the band from the second date (1978). Areas of little or no change appear grey, while any areas that have changed are highlighted in one of two colours (Colour Plate 8). In the second enhancement procedure, the ratio method, the pixels from one date are ratioed with pixels from the second date. Areas of no change, with a

combinés des estimations sur les pâturages améliorés et les terres agricoles étaient satisfaisants puisque le taux de précision variait de 82 à 84% des estimations du C.L.D.S.; dans les régions boisées, les estimations variaient entre 94 et 106% de celles du C.L.D.S. Dans la catégorie des basses terres, les nombreuses petites cuvettes et les bandes de végétation le long des lacs ont été supprimées par l'utilisation d'un filtre spatial (3 x 3) qui diminuait cependant le degré de précision des ces petites particularités.

Dans le cas des changements dans l'utilisation du sol, les données Landsat indiquaient que 54,8% des terres du Manitoba avaient "changé" tandis que les données du C.L.D.S. affichaient un taux de changement de 16,4% entre 1972 et 1976. Les sources d'erreurs affectant les cartes d'utilisation du sol préparées à partir de données fournies par satellites peuvent être causées par les facteurs suivants: (1) des cartes préparées d'après les données de l'un ou de l'autre des systèmes ou des deux et dont la classification point par point est incorrecte en raison d'une erreur d'entraînement spectral ou d'un mauvais choix de sites d'entraînement; (2) les signatures spectrales pour une utilisation précise du sol qui varient d'une date à l'autre et même au cours d'une même sous-scène de données; ou (3) un repérage imparfait de deux sous-scènes (Rubec et Thie, 1978).

En conclusion, Rubec et Thie (1978) ont déclaré que les données Landsat ont été très utiles pour la préparation d'un résumé synoptique de l'utilisation et de la couverture des terres dans la région visée par le projet (500 km²). "Toute la couverture boisée, les terres agricoles et les eaux libres sont bien classées (taux de précision variant de 82 à 95%) au moyen des données obtenues en août. Les données recueillies au cours de l'hiver alors qu'il y a une couverture de neige permettent de préparer des cartes raisonnablement précises des terres boisées (93% de précision), des terres agricoles et de relever certaines infrastructures.

Il n'est pas encore possible d'exercer une surveillance automatique de l'utilisation du sol en raison des problèmes de classification spectrale et de repérage des données. Cependant, la surveillance effectuée par le Landsat et les cartes de régions boisées dans les prairies permettent d'obtenir des données comparables aux analyses de photographies aériennes et aux

ratio of 1.0 (assuming no atmospheric effects), appear grey. Areas of change, with values either higher or lower than 1.0, are displayed in either light or dark tones; the lighter or darker the image, the more change. In the third enhancement procedure, a new data set is generated by subtracting the values of each band on one date from the values of the same band on the second date. Again, light and dark tones indicate areas of greatest change. The fourth and last enhancement is the vegetation index designed to emphasize differences in biomass on an image. For any date, it is determined on a pixel-by-pixel basis using Band 5 and Band 7 data in the formula:

$$V.I. = \frac{\text{Band 7} - \text{Band 5}}{\text{Band 7} + \text{Band 5}}$$

By assigning each vegetation index a different colour on the CRT, vegetation changes are emphasized (Colour Plate 9).

In the post-classification change detection method, a supervised or unsupervised classification of two dates is carried out. The classifications are compared on a pixel-by-pixel basis. A detailed methodology for this procedure is outlined by Howarth and Wickware (In prep.). As pointed out by Stow et al. (1980), however, the accuracy of the method is dependent upon the accuracy of the initial classification.

All of the enhancement methods were found to be successful: land cover/use changes can be monitored using Landsat digital data. The four enhancement methods have been tested, but a comparison of classifications between two dates was not attempted due to their low accuracies (around 60%); the maximum accuracy for two dates would be approximately 36%. The overlay of one band on the same band of another date provides the best information on change. It is also concluded that rather than carrying out classification of changes, the Landsat data are better used to point out areas of changes. Other methods can then be used to interpret the nature of the actual changes.

Conclusion

Over the Landsat decade, Canada has developed the capability to produce geometrically corrected Landsat data as a standard product. This development, along with inexpensive digital image analysis systems, has resulted in change detection techniques which are simple yet powerful. These methods have been applied in only

interprétations du C.L.D.S." (Rubec et Thie, 1978: 143-44).

Les résultats ont montré que les changements d'intensification dans les zones agricoles (de grands pâturages à des zones de culture) ne pouvaient pas être facilement indiqués sur une carte. Il en est ainsi des changements urbains. Ces conclusions même si elles étaient valides à ce moment seront probablement révisées en fonction des variations dans les données disponibles et des méthodes et techniques exposées par Prout (1980) et Boasson (1981).

Dans son introduction à l'étude réalisée à Halifax, Prout (1980:308) a présenté une révision d'un certain nombre d'études antérieures dont deux sont signalées dans le présent document. Dans son résumé, elle a précisé que les résultats montraient l'existence de problèmes d'échelle, de résolution, de différenciation des catégories et de superposition d'images prises à différentes dates pour surveiller les changements. En plus des problèmes d'interprétation elle a noté que le matériel d'analyse est soit non disponible, soit utilisé à d'autres fins dans des régions où des cartes sont actuellement préparées sur l'utilisation du sol. Les coûts d'acquisition du matériel d'analyse et de formation des analystes sont dans de nombreux cas trop élevés pour les organismes qui ont besoin de renseignements courants sur l'utilisation et le couvert des terres. Ces organismes ont déjà à leur service des photointerprètes qui sont spécialisés dans la préparation de cartes à partir de photographies aériennes en noir et blanc; grâce à leur expérience ces personnes pourraient éventuellement travailler à partir d'images obtenues par télédétection. Des techniques d'intégration des autres sources de données au programme de cartographie de l'utilisation du sol offriront plus de souplesse et permettront d'exercer une meilleure surveillance qu'avec un seul type de capteur ou qu'à partir d'une seule source de données.

Prout a ensuite préparé sur papier d'impression noir et blanc toutes les données qui sont conformes à sa théorie des méthodes simples basées sur des techniques ordinaires utilisant des images utilisables tant en laboratoire que sur le terrain. L'interprétation a été effectuée au moyen d'un stéréoscope à miroir et d'agrandisseurs manuels. Les images Landsat on également été photographiées pour obtenir des photos de 35 mm servant à des projections au 1/50 000. Il a fallu préparer un exposé complet de la

limited analysis of urbanization, but their usefulness for change detection is graphically depicted in a comparative study of Calgary, Alberta (Colour Plate 6), a city which has grown from a 1975 population of 453,732 to 591,857 in 1981.

Canadian evidence and experience with the various methods outlined above suggests that existing classification algorithms are limited for all but the most simplistic applications.

AGRICULTURAL CHANGE

Introduction

Changes from forestry to crops, or from dryland farming to irrigated cropping are considered changes in intensity of agriculture. In a less traditional sense, increasing range utilization may also be considered to be a change in agricultural intensity. The monitoring of crop areas or general condition from year to year may also be seen as a measure of productivity which is in turn related to intensification. Last among the less traditional views of intensification is the monitoring of crop rotation as a contribution to predictive soil erosion studies which affect future intensity of use. Studies in each of these areas have been carried out in Canada since the launch of Landsat. An example of each is included here to illustrate the application of Landsat to monitoring agricultural intensification in Canada.

Study Areas

The two traditional examples of agricultural intensification have both been carried out in Alberta. The first was done in the Peace River District near Fort Vermillion (Figure 1). In this northern frontier agricultural fringe, land is rapidly being cleared of forest and bush for large-scale mechanized agriculture. The area is typified by fine, deep soils and very short growing seasons. Major crops are canola (rapeseed), wheat and barley. The second example is in the dryland area of southern Alberta around Lethbridge and Taber (Figure 1) where dryland farms and native ranges are rapidly being converted to irrigated cropland. The irrigated areas are characterized by productive soils often prone to salinity, with the major climatic limitation being inadequate moisture. A growing urban market is close at hand for a variety of vegetable crops and potatoes, as well as for wheat. The same semiarid region also contains extensive native shortgrass

façon de procéder afin de permettre une comparaison entre les différentes méthodes c'est-à-dire les méthodes d'interprétation utilisées, les catégories de sol cartographié et les particularités identifiables au sein d'une même catégorie. Ainsi, les résultats obtenus permettent de comparer les différentes sources de données et leur utilité.

Prout (1980) a tiré plusieurs conclusions de ses travaux. D'abord différentes sources de données obtenues par télédétection peuvent fournir des renseignements complémentaires qu'il faut cependant vérifier au sol. Ensuite, pour mettre à jour une carte il n'est pas nécessaire d'utiliser les mêmes données que celles ayant servi à préparer l'original. (En effet, la fréquence de couverture est supérieure avec des données provenant de différentes sources). En troisième lieu, une combinaison de photographies R.B.V. et des clichés de données M.S.S. agrandis par voie numérique "constitue la meilleure possibilité de remplacement des photographies aériennes" (Prout, 1980:316). Enfin, l'interprétation visuelle au moyen de tons ou de couleurs et de configurations demeurera vraisemblablement la méthode fondamentale.

L'étude exécutée à Hamilton consistait à évaluer une plus grande variété de données et de types d'images comme source d'information sur l'utilisation du sol. Au cours des études qui ont déjà été signalées, les résultats des travaux antérieurs ont été très utiles. Cependant, contrairement aux autres études, des sources de données plus récentes comme les données numériques DICS ont été utilisées avec des méthodes mises au point à partir des travaux effectués récemment dans des zones agricoles et forestières (Banner et Lynham, 1981) (Yazdani et associés, 1981). La planche couleur No. 7 montre les données DICS obtenues à Hamilton en 1974 et 1978 sur un écran cathodique. Les changements sont facilement visibles.

Dans son analyse, Boasson a évalué les images obtenues par capteurs transportés à bord de satellites et d'avions. Pour ce qui est du Landsat il a utilisé des clichés MSS à partir de données DICS, des données numériques et des diapositives, des clichés blanc et noir RBV et des données obtenues à partir de photographies à l'échelle de 1/500 000. Les sites d'entraînement et d'essai ont été choisis au moyen d'un échantillonnage au hasard sur une grille U.T.M. (Boasson, 1981). Les photographies aériennes à l'échelle de 1/10 000 ainsi que des vérifications sur le terrain ont servi de

prairie range for cattle production. This shortgrass prairie area is used in the range vegetation condition study related to intensification.

The upper St. John River Valley in New Brunswick (Figure 1) has been used for both developing and routinely applying crop area estimation procedures, as well as for change monitoring and erosion studies related to agriculture. The region is characterized by rolling terrain, relatively steep slopes (especially for row crops and highly mechanized agriculture), shallow stony soils, moderate climate and heavy spring run-off with snow melt. About 20% of Canada's \$250,000,000 potato crop is grown in this 7500 km² area.

Problem Description

The need for crop area estimation for marketing and transportation planning, and the need for monitoring land clearing to administer land clearing grants have led to the requirement for change information on the agricultural fringe. Changes in area of irrigated land and in irrigation practices are of interest to those agencies charged with maintaining adequate quantity and quality of water. In addition, there is the associated problem of increasing salinity and a need for better data for agricultural extension work. The change detection work using Landsat in both agricultural fringe and irrigated areas is just beginning in Canada.

Of the less traditional intensification-related studies using Landsat one of the closest to routine application in Canada is the use of special enhancements for monitoring rangeland condition in the semi-arid prairie. Provision of a measure of relative rangeland utilization on a regular basis would allow government agencies and private ranchers to improve their management of the range and thus maximize efficiency (Brown et al., 1981).

The final two studies discussed here were both primarily concerned with potatoes, and shared the same study area in the St. John Valley as well as some of the same data. In the first, crop area estimation procedures were developed for potatoes in a joint project with Statistics Canada to meet their mandate for providing crop area statistics (Ryerson et al., 1981). The second study was an evaluation of the use of Landsat and simulated Landsat D and SPOT data for provision of information useful for soil erosion prediction and control planning (Stephens and Cihlar, 1981). Specifically,

données de vérification. Comme mentionné précédemment, Boasson a utilisé une version modifiée du système de classification selon l'utilisation du sol établi par Anderson (Anderson et autres, 1976).

Les résultats obtenus pour la classification selon l'utilisation du sol à partir de différentes méthodes on ensuite été comparés. La précision des différentes analyses utilisées avec des données Landsat étaient analogues à ceux des études antérieures. Boasson a donc conclu que pour une classification générale, l'analyse visuelle était plus précise qu'un système automatisé (87 à 89,2% et 80,9% respectivement) alors que pour établir une classification plus détaillée, la méthode est moins précise (de 20 à 30% de moins). En outre, il a découvert que les degrés de précision pour les RBV de plus grande résolution étaient analogues à ceux du MSS obtenus par Landsat (Boasson, 1981:105-120).

Au contraire de la plupart des études, les travaux de Boasson ont également précisé le temps nécessaire pour cartographier la zone étudiée de 4 800 km² en utilisant la méthode de l'analyse numérique, soit cinq heures pour l'apprentissage et trois heures pour la classification. La carte à huit classes qui en résulte avait un degré de précision de 55%, ou de 64% pour les classes servant à l'apprentissage (Boasson, 1981).

La principale contribution de Boasson est sa participation à la démonstration de l'utilité des données DICS à l'aide de méthodes simples mises au point ailleurs au Canada (Banner et Lynham, 1981; Yazdani et al., 1981), en vue de surveiller les changements de l'utilisation du sol. Etant donné les capacités de superposition quasi parfaites des données DICS, le repérage scène par scène n'engendre plus les problèmes d'autrefois (par ex.: Rubec et Thie, 1978). Quatre méthodes de détection des changements par rehaussement on été soulignées: la superposition, les rapports, la soustraction, l'indice de la végétation, plus une méthode de post-classification qui a été évaluée.

Dans la méthode de superposition, une bande (la même pour chaque date) est choisie et reproduite sur écran cathodique, le bleu et le vert sur la bande correspondant à une date (1974) et le rouge à la deuxième date (1978). Les zones où il y a peu ou pas de changements sont grises, tandis que les autres sont accentuées par une ou deux couleurs (Voir la planche couleur No. 8). Dans la méthode des rapports, les pixels relatifs à la lère date sont mis en rapport

Landsat MSS data were evaluated as a source for the crop management (crop types and rotations) factor "C" in the universal soil loss equation (the primary factor not readily available from other sources). Measurement of this factor from Landsat would provide a low-cost method for soil loss prediction. Related to but independent of this study, was another in the same area which developed a data base and change detection procedure to monitor crop rotations and changes on a per-field basis (Yazdani, 1982).

Methods, Analysis and Results

The agriculture studies noted above are similar in several respects. Each addressed real data needs, involved an element of research and produced positive findings. However, the differences between the various studies are substantial as methods ranged from the very simple to complex, multi-step digital analyses.

The first two studies discussed here are the most recent, but they do build upon the land use work reported earlier. For the land clearing study, simple overlays of DICS digital data similar to those first suggested by Banner and Lynham (1981) and evaluated by Boasson (1981) were used to map land cleared for agriculture. Although the evaluation of the work is not yet complete, the usefulness of the change maps derived by township and range (Colour Plate 10c) is readily apparent. The Landsat data alone also provide a startling comparison between the land cleared as of 1977 (Colour Plate 10a), and that cleared by 1981 (Colour Plate 10b).

For the study of changes in irrigated land, both simple visual interpretation of 1:500,000 DICS colour images and more complex digital analysis of DICS data acquired on the same dates were used. For mapping of easily identified features such as centre pivot irrigation or large, newly irrigated areas, visual analysis of a colour CRT of DICS digital data (as depicted in Colour Plate 11) would suffice. It was found in a study for this report that simple visual analysis of a 1:500,000 DICS photographic product was not adequate, and some centre pivots were missed. For more complex assessments of the effects of irrigation, individual field conditions, etc., digital analysis is recommended. Work in this project to date indicates that DICS data are superior to standard Landsat data for these applications.

The rangeland assessment work (Brown et al., 1981) successfully tied together ground spectroscopy, airborne and satellite data,

avec ceux qui se rapportent à la 2^e date. Les zones où il n'y a pas de changements et dont le rapport est de 1.0 (en supposant aucun effet atmosphérique) paraîtront grises. Les zones qui ont subi des changements et dont les rapports sont supérieurs ou inférieurs à 1.0, sont représentées par des teintes pâles ou foncées... plus l'image est foncée ou pâle, plus il y a eu de changements. Une nouvelle série de données peut également être obtenue en soustrayant les valeurs de la bande concernant une date de celles de la même bande concernant la deuxième date. Encore un fois, les teintes pâles et foncées correspondent aux zones où il s'est produit le plus de changements. La quatrième et dernière méthode de rehaussement est l'indice de végétation qui est conçu pour mettre en relief les différences de la biomasse sur une image. Quelle que soit la date, il est déterminé en fonction de chaque pixel en se servant des données de la bande 5 et la bande 7, conformément à la formule:

$$I.V. = \frac{\text{bande 7} - \text{bande 5}}{\text{bande 7} + \text{bande 5}}$$

En allouant une couleur différente sur l'écran cathodique à chaque indice de végétation, les changements sur ce plan sont accentués. (Voir la planche couleur No. 9). Pour ce qui est de la détection des changements selon la méthode de post-classification, on procède à une classification supervisée ou non-supervisée relativement à deux dates. Les classifications sont comparées pixel par pixel. Une méthodologie détaillée de cette méthode est donnée par Howarth et Wickware (En prép). Comme souligné par Stow et al. (1980), le degré de précision de cette méthode est toutefois fonction de celui de la classification initiale.

Toutes les méthodes de rehaussements procurent d'excellents résultats. En conclusion, les changements de la couverture et de l'utilisation du sol peuvent être surveillés à l'aide des données numériques Landsat. Les quatre méthodes de rehaussement on été mises à l'essai, mais la comparaison de la classification concernant deux dates n'a pas été tentée en raison du faible degré de précision (environ 60%); le maximum de précision qu'il est possible d'obtenir pour deux dates est d'environ 36%. La superposition d'une bande sur la même bande de date différente, fournit les meilleurs renseignements sur les changements. On conclut également qu'au lieu de procéder à la classification des changements, il vaut mieux utiliser les données Landsat pour indiquer les zones de changement. D'autres méthodes

and knowledge of the rangeland's biological attributes to develop a special contrast-stretch enhancement procedure which produces an easily interpreted, colour photographic product (Colour Plate 12a) from standard Landsat data (Colour Plate 12b). The method is used in the shortgrass prairie where carryover (tall, brown litter) indicates a good range, while absence of carryover and possibly invasion by forbs (broad-leaved weeds) indicate a poorer quality range.

In the enhancement, all cultivated vegetation showing high near-IR reflectance is compressed to one end of the scale, while all non-vegetation is compressed at the opposite end. The enlarged mid-range is thus reserved for the grazed natural grassland areas which normally occupy a narrow range of radiances. On the resulting image, good ranges appear dark blue, while poor ranges appear as light blue or shades of pink to red (Colour Plate 13). Multi-temporal images of this type may also be used to evaluate changes in management practice or where changes should be made. These image products have been evaluated in the field for two years, are now being routinely used for range management in Alberta, and have been successfully tested for Prairie Farm Rehabilitation Administration (PFRA) pastures in Saskatchewan (Thompson, 1981).

The methods for potato area estimation in New Brunswick rely on DICS digital data, and on the use of ground data for training, classification and generation of a regression factor which allows the Landsat data to be used reliably over a much larger area (Ryerson et al., 1981). The segments in which ground data are to be collected are outlined in the spring of the current crop year on DICS data from some previous year, and are stored on disk for later use. Estimates of potato area by field in each segment are obtained from farmers by interviewers who record the information on photo maps. These photo maps are sent to the analysis centre by late July for use with the current year DICS data usually delivered within two weeks of the satellite pass. Classification is done in hardware, using the simple parallelepiped classifier. The estimates produced for two crop years are comparable to other estimates and the published values. (Ryerson et al., 1981.)

In the soil erosion work reviewed here, Landsat DICS data were used for classification of Landsat data into forest, cropland and pasture using both the more complex maximum likelihood and the

peuvent être utilisées pour interpréter la nature des changements réels.

Conclusion

Au cours de la décennie d'utilisation de Landsat, le Canada a acquis la capacité de produire des données Landsat corrigées géométriquement comme produit standard. Cette réalisation, de même que les systèmes peu coûteux d'analyse des images numériques, a permis l'élaboration de techniques de détection des changements qui, bien que simples, sont hautement perfectionnées. Ces méthodes n'ont été appliquées que dans le cadre d'analyses limitées de l'urbanisation, mais leur utilité aux fins de la détection des changements est illustrée graphiquement dans une étude comparative portant sur Calgary (Alberta) (voir la planche couleur No. 6), ville dont la population est passée de 453 732 personnes en 1975 à 591 857 personnes en 1981.

Les données et l'expérience canadiennes concernant les diverses méthodes mentionnées suggèrent que l'utilisation des algorithmes existants de classification est limitée, sauf dans le cas des analyses les plus simples.

CHANGEMENTS AGRICOLES

Introduction

Les changements d'une forêt en une zone cultivée ou d'une culture sèche en culture irriguée étaient considérés comme des changements de l'intensité de l'utilisation du sol. Dans une optique moins classique, l'utilisation croissante de l'utilisation des pâturages pourrait aussi être considérée comme un changement de l'intensité d'utilisation du sol. L'observation des surfaces cultivées ou de leur condition générale, d'une année à l'autre, peut être également considérée comme une mesure de la productivité qui est, à son tour, liée à l'intensification agricole. La dernière des optiques les moins classiques de l'intensification est l'observation de la rotation des cultures qui contribue aux études de prévision de l'érosion des sols dont l'influence se fera sentir sur la future intensification de l'utilisation du sol. Des études dans chacun de ces domaines ont été réalisées au Canada depuis la mise en orbite du Landsat. Nous avons inclus un exemple de chaque étude en vue d'illustrer dans quelle mesure les données Landsat s'appliquent à la surveillance de l'intensification de l'agriculture au Canada.

parallelepiped classifications. These classes can in turn be related to erosion potential for given physical factors such as slope, soil type, etc. The accuracy of the classification was $88\% \pm 0.7$ at 1:25 000 mapping scales (Stephens and Cihlar, 1981). The crop management factor (C value), or ratio of soil loss under a specified crop management system compared to fallow land, was related to summer MSS radiance values for a variety of test sites. Landsat data were able to explain 72 to 86% of the variation in the C value (Stephens and Cihlar, 1981).

The last study of note here was by Yazdani (1982), who developed a simple means of relating Landsat DICS digital data to a geodata base. Through the use of band ratios and other methods, changes were detected and identified in specific agricultural fields and land use (in terms of crop type) could be updated in a UTM-based geo-information system.

Conclusions

As noted above for land use studies, Canadian agricultural studies have also made use of DICS data, image analysis hardware and generally simple procedures. Although the range of applications is broad, these studies can be characterized as being problem-oriented. They use a variety of methods based on both original work or modifications of procedures developed elsewhere.

The overriding focus of Canadian work in this domain is, however, the video or photographic display of the Landsat digital data. Elsewhere Landsat data can be characterized as a source of numerical data. In Canada, however, Landsat data have continued to be used in the form of images based on digital data. With this visual basis, imagery is much easier for the resource managers to understand and use than it would be if all analyses were strictly numerical.

CONCLUSIONS

The application of Landsat to monitoring urbanization and agricultural intensification in Canada cannot be viewed as a simple extension of methods developed and used elsewhere. The key differences lie in the type of data available and the organization of the remote sensing community.

Geometrically corrected data, available as standard products in Canada, reduce preprocessing problems and allow overlays to

Zones étudiées

Les deux exemples de conception classique de l'intensification de l'agriculture portent sur l'Alberta. Le premier exemple est une zone qui se trouve dans le district de la rivière Peace, près de Fort Vermillion (figure 1); dans cette région située à la limite septentrionale des terres agricoles, on procède rapidement au défrichage des forêts et des buissons, afin de pouvoir faire de l'agriculture mécanisée à grande échelle. La région est caractérisée par une épaisse couche de sol limono-argileux et une saison de culture très courte. Les principales récoltes sont le colza (graine de colza), le blé et l'orge. Le deuxième exemple est une zone de culture sèche située dans le sud de l'Alberta, près de Lethbridge et Taber (figure 1); les fermes où s'effectue l'aridoculture et les pâturages naturels sont rapidement en train d'être transformés en terres labourables irriguées. Les zones irriguées sont caractérisées par des sols productifs qui ont souvent tendance à être salins et dont la principale restriction climatique est une humidité inadéquate. A proximité une zone urbaine, il y a des débouchés croissants du marché pour toute une gamme de légumes et de pommes de terre, ainsi que pour le blé et le foin. La même région semi-aride contient également de grandes prairies à herbes courtes et également une zone utilisée pour l'étude, liée à l'intensification de l'utilisation du sol, de la condition de la végétation dans les pâturages.

La partie en amont de la vallée de la rivière St. John, au Nouveau-Brunswick, (figure 1) a été le cadre de l'élaboration et de l'application usuelle de modalités d'estimation des zones de culture, ainsi que de la surveillance des changements et des études sur l'érosion, sur le plan de l'agriculture. Cette région est caractérisée par des terrains ondulés, des pentes relativement abruptes (particulièrement pour la culture en rang et l'agriculture hautement mécanisée), des sols minces et pierreux, un climat tempéré et un fort ruissellement au printemps lors de la fonte des neiges. Environ 20% des récoltes canadiennes de pommes de terre, représentant 250 millions de dollars, proviennent de cette superficie de 7 500 km².

Description des problèmes

Le besoin fondamental de disposer d'une estimation des zones de culture, aux fins de la commercialisation et de la planification du transport et le besoin d'observer les

single pixel accuracy. Thus, use may be easily made of very simple multi-temporal image-overlay change detection procedures which have been abandoned elsewhere because of the image-to-image multi-temporal registration problem.

The second point of comparison is the organization of the community involved in the work. In Canada, a clearly defined, integrated National Remote Sensing Program is co-ordinated by the Federal Government with significant roles and inputs from Provincial Governments, industry and universities; lines of communication are short and there is seldom duplication of work.

Relatively low budgets have ensured that previous work is incorporated into current work where possible, further decreasing duplication of effort. This is facilitated and enhanced by the small number of workers in the field: close professional and personal ties bind the Canadian work together almost like a single team. The small community and long personal associations also cross disciplines. It was therefore possible for some of the work reported herein to borrow from the forestry procedures developed by Banner and Lynham (1981) even before their work was published.

There are several other characteristics of Canadian work which, when taken with the above, tend to differentiate it from that conducted elsewhere. In most cases, the work outlined herein focused on a specific information need, such as the updating of a data source not derived from Landsat. As a result, the projects often involved evaluating and melding various data sources, of which Landsat was only one. Indeed, in some cases, Landsat was not selected as the best source, as in the mapping of the southern portions of the Great Lakes Basin. The fact that the work is not tied to Landsat, or to one analysis procedure, has resulted in the freedom to choose the most appropriate data source and most appropriate analysis method. This freedom, combined with the fact that the data have been regarded as digital images and not digital values, has resulted in methods which are both credible and easily understood by the user.

The technology, organization, and approach to using Landsat for mapping changes in agriculture and land use in Canada have resulted in a number of successful demonstrations and provides a sound foundation for the future. As spatial and spectral resolution of satellite data increase, Canada will be prepared to apply

zones défrichées afin de pouvoir allouer des subventions pour le défrichage des terres ont entraîné la nécessité de recueillir des renseignements sur les changements qui surviennent dans la zone située à la limite des terres agricoles. Les changements concernant les terres irriguées et les pratiques d'irrigation revêtent un intérêt pour les organismes chargés d'assurer les approvisionnements en eau potable. De plus, la salinité croissante et la nécessité d'obtenir de meilleures données en vue de procéder aux travaux d'expansion agricole constituent des problèmes connexes. Les travaux de détection, à l'aide de Landsat, de changements à la limite des zones agricoles et dans les régions irriguées ne font que débiter au Canada.

Parmi les études d'intensification les moins classiques qui utilisent les données Landsat, l'application la plus conforme aux modalités habituelles utilisées au pays est l'emploi de méthodes d'accentuation spéciales pour la surveillance de la condition des pâturages des prairies semi-arides. Le fait de fournir régulièrement une évaluation de la productivité des pâturages permettrait aux organismes gouvernementaux et aux éleveurs d'améliorer leur gestion des pâturages et donc, d'en maximiser l'efficacité (Brown et al. 1981).

Les deux dernières études susmentionnées traitent surtout des pommes de terre et se sont déroulées dans la même région d'étude dans la vallée de la rivière St-John ainsi que certaines des mêmes données. Dans le cadre de la première étude, des modalités d'évaluation de la zone de culture ont été élaborées en ce qui a trait aux pommes de terre. Le tout s'est déroulé de concert avec Statistique Canada qui doit fournir, conformément à ses attributions, des statistiques sur les zones de culture (Ryerson et al. 1981). La deuxième étude consistait en une évaluation de l'utilisation de Landsat et des données simulées de Landsat D et de SPOT, dans le but de fournir des renseignements utiles pour prévoir l'érosion des sols et planifier une méthode de contrôle (Stphens et Cihlar, 1981). Plus particulièrement, les données Landsat obtenues par balayeur multispectral ont été évaluées à titre de source pour la gestion des cultures (types et rotation de cultures) et constituent le facteur "C" de l'équation de la perte des sols types (les données concernant le facteur principal n'étant pas disponibles d'autres sources). La possibilité de mesurer ce facteur à l'aide de Landsat constituerait un moyen peu coûteux de prévoir la perte des sols. Une autre étude,

the new technologies based on the experience gained during the first Landsat decade.

connexe à la précédente mais indépendante de celle-ci, a été effectuée dans cette région et a permis l'élaboration d'un fichier central et d'une méthode de détection des changements en vue de contrôler la rotation et le changement des cultures en fonction de chaque champ (Yazdani, 1982).

Méthodes, analyses et résultats

Les études relatives à l'agriculture mentionnées ci-dessus se ressemblent à plusieurs points de vue. Chacune d'entre elles a traité des besoins réels en données, a comporté un élément de recherche et a produit des résultats positifs. Cependant, les différences qui les caractérisent sont encore plus remarquables puisque les méthodes employées vont des analyses les plus simples aux analyses numériques complexes à plusieurs étapes.

Les deux premières études mentionnées sont les plus récentes, mais elles s'appuient sur des travaux relatifs à l'utilisation du sol mentionnés préalablement. Dans l'étude des terres défrichées, de simples superpositions de données numériques DICS semblables à celles initialement suggérées par Banner et Lynham (1981) et évaluées par Boasson (1981), ont été utilisées pour cartographier les terres défrichées à des fins agricoles. Bien qu'on n'ait pas encore fini d'évaluer les travaux, l'utilité des cartes illustrant les changements per canton et pâturage (voir la planche couleurs 10c) est évidente. Les données du Landsat fournissent, à elles seules, une étonnante comparaison entre les terres défrichées en 1977 (voir la planche couleur 10a) et celles qui l'étaient en 1981 (voir la planche couleur 10b).

Pour l'étude des changements au niveau des terres irriguées, on a procédé à une simple interprétation visuelle des images couleurs DICS à 1:500 000 et à une analyse numérique plus complexe des données DICS recueillies pour la même date. Pour cartographier des éléments facilement identifiables comme l'irrigation par pivot central et les nouvelles régions irriguées de grande envergure, il a suffi de procéder à une simple analyse visuelle des données numériques DICS représentées en couleurs sur un écran cathodique (voir la planche couleur 11). On a déterminé, dans le cadre d'une étude de ce rapport, que l'analyse visuelle des photographies DICS à 1:500 000 n'était pas convenable et que certaines zones circulaires irriguées n'avaient pas été vues. On recommande l'analyse numérique dans le cas des évaluations plus complexes des

répercussions de l'irrigation, de la condition des divers champs, etc. Jusqu'à présent, les travaux effectués dans le cadre du projet ont révélé que pour ce genre d'application les données DICS sont supérieures aux données ordinaires de Landsat.

L'évaluation des pâturages (Brown et al., 1981) a permis de lier avec succès la spectroscopie du terrain, les données aérospatiales et la connaissance des propriétés biologiques des pâturages en vue d'élaborer une méthode spéciale d'accentuation par rehaussement des contrastes qui produit, à partir de données Landsat (voir planche couleurs 12b), une photographie couleur facile à interpréter (voir la planche couleur 12a). Cette méthode est utilisée pour les prairies à herbes courtes où les déchets des récoltes (épaisse litière de couleur brune) révèlent les bons pâturages, tandis que le manque de stock de report et l'invasion par le dicotylédon herbacé (mauvaises herbes à feuilles larges) indiquent que les pâturages sont de mauvaise qualité.

Lors du rehaussement, la végétation cultivée qui présente une réflectance élevée dans le proche infrarouge est regroupée à une extrémité de l'échelle et ce qui ne représente pas la végétation, à l'autre extrémité. La zone médiane élargie est donc réservée aux zones de pâturages naturels à herbes courtes qui occupent habituellement une faible échelle de radiance. Sur l'image qui en résulte, les bons pâturages sont représentés en bleu pâle tandis que les mauvais pâturages varient du rose au rouge (planche couleur 13). Les images multidates de ce genre peuvent également être utilisées pour évaluer les changements au niveau des pratiques de gestion ou déterminer là où des changements devraient être apportés. Durant 2 ans, on a évalué ces images sur le terrain et il est maintenant pratique courante de s'en servir pour la gestion des pâturages en Alberta. Elles ont également été mises à l'essai avec succès dans le cas des pâturages de la Prairie Farm Rehabilitation Administration (PFRA), en Saskatchewan (Thompson, 1981).

Les méthodes utilisées pour calculer la superficie des champs de pommes de terre au Nouveau-Brunswick sont fondées sur les données numériques DICS et sur les données prélevées au sol pour entraînement, la classification et la production d'un facteur de régression permettent l'utilisation des données Landsat sur des surfaces de plus

grande envergure (Ryerson et al., 1981). Les parcelles où seront prélevées les données au sol sont déterminées au printemps de l'année courante de culture, à partir de données DICS tirées d'une année antérieure et sont conservées pour utilisation ultérieure sur disque. L'estimation de la superficie de chaque champ de pommes de terre dans chaque section est obtenue des agriculteurs par des enquêteurs qui notent ces données sur des photoplans. Le centre d'analyse reçoit ces photoplans au plus tard à la fin de juillet et les utilise avec les données DICS courantes, généralement obtenues dans les deux semaines suivant l'orbite du satellite. La classification est effectuée par ordinateur, au moyen de la méthode du parallépipède. Les valeurs estimées pour deux années du cultures sont comparées à d'autres estimations et aux valeurs publiées données au Tableau 2.

Dans les études de l'érosion du sol décrites dans la présente, les données DICS ont servi à classer les données Landsat en termes de forêts, de terres labourables et de pâturages, grâce à la méthode plus complexe du maximum de vraisemblance et des classifications par parallépipèdes. Ces catégories peuvent à leur tour être liées aux possibilités d'érosion des facteurs physiques donnés, tels la pente, la catégorie de sol, etc. La classification avait une précision de $88\% \pm 0,7$, à une échelle cartographique de 1/25 000 (Stephens et Cihlar, 1981). On a comparé le facteur de gestion des cultures (valeur C) ou le rapport entre la perte des sols pour un système particulier de gestion des cultures et celles des terres en jachère, était comparé aux valeurs de radiance estivale prélevées au moyen d'un balayeur multispectral pour un nombre de sites d'entraînement. Les données Landsat ont expliqué entre 72% et 86% des écarts de la valeur C (Stephens et Cihlar, 1981).

La dernière étude importante est celle de Yazdani (1982); il a mis au point une méthode simple pour rattacher les données numériques DICS de Landsat à une base de données géographiques. L'utilisation des proportions de bandes et d'autres méthodes permet de déceler et d'identifier les changements dans les champs agricoles particuliers et de mettre à jour l'utilisation du sol (c.-à-d., le type de culture) dans un système d'informations géographique fondé sur la grille U.T.M.

Comme on l'a noté précédemment, les études de l'utilisation du sol, les études agricoles canadiennes ont utilisé les données

Landsat, le système d'analyse des images et le méthodes généralement simples. Ces études se sont concentrées sur les problèmes, bien que leurs applications aient une vaste portée. Elles utilisent une gamme de méthodes fondées sur des travaux originaux ou sur des modifications apportées aux procédures mises au point ailleurs.

Les travaux canadiens dans ce domaine se sont concentrés sur l'affichage vidéo ou photographique des données numériques Landsat. Dans d'autres pays, les données Landsat sont une source de données numériques. Au Canada, elles sont utilisées sous forme d'images fondées sur des données numériques. Ce type de représentation visuelle facilite la compréhension et l'utilisation de l'information par les gestionnaires des ressources.

CONCLUSIONS

L'utilisation des satellites Landsat pour observer l'urbanisation et l'intensification agricole au Canada ne peut pas être considérée comme une simple prolongation des méthodes mises au point et utilisées ailleurs. Les différences essentielles résident dans la catégorie de données disponibles et dans l'organisation de la communauté de télédétection concernée.

Au Canada, la disponibilité des données corrigées géométriquement permet de réduire le nombre de problèmes de pré-traitement et de préparer des recouvrements dont la précision est de l'ordre du pixel. Il est donc possible d'utiliser les méthodes très simples de détection des changements par la superposition d'images multitudes, qui avaient été abandonnées ailleurs à cause des problèmes de superposition multitude image à image.

Le deuxième point de comparaison est celui de l'organisation de la communauté concernée. Au Canada, le gouvernement fédéral coordonne un programme bien défini, le Programme national de télédétection; les gouvernements provinciaux, l'industrie et les universités y ont tous un rôle important à jouer. Les lignes de communication sont courtes et il y a rarement répétition du travail.

Les budgets relativement peu élevés ont assuré l'incorporation, dans la mesure du possible, des travaux antérieurs aux travaux en cours, ce qui permet également d'éviter la répétition du travail. Cette situation est facilitée et améliorée par le petit nombre de personnes qui travaillent dans ce domaine:

des liens professionnels et personnels rapprochés unissent ces Canadiens en une seule équipe qui comprend les gouvernements, l'industrie et les universités. La petite communauté et les longues associations personnelles permettent le croisement des disciplines. Certains chercheurs cités dans la présente ont donc pu employer les méthodes de sylviculture mises au point par Banner et Lynham (1981) avant même qu'elles n'eussent été publiées.

Il existe plusieurs autres caractéristiques des travaux canadiens qui, avec les éléments susmentionnés, permettent de distinguer ces travaux de ceux qui sont entrepris ailleurs. Dans la plupart des cas, les études résumées dans la présente se sont concentrées sur un besoin particulier en matière d'information, par exemple, la mise à jour d'une source de données qui ne proviennent pas de Landsat. Ces projets comprenaient donc souvent l'évaluation et la combinaison de diverses sources de données, dont le Landsat n'était qu'un seul exemple. En effet, dans certains cas, notamment la cartographie des parties sud du bassin des Grands Lacs, le Landsat n'était pas considéré comme la meilleure source. Puisque le travail n'était pas rattaché à Landsat, ni à une seule méthode d'analyse, on a pu choisir la meilleure source de données et la meilleure méthode d'analyse. Cette liberté, alliée au fait que les données sont considérées comme des images numériques plutôt que des valeurs numériques, a abouti à la mise au point de méthodes à la fois plausibles et facilement comprises par l'utilisateur.

La technologie et l'organisation liées à l'utilisation de Landsat pour cartographier les changements dans l'agriculture et dans l'utilisation du sol au Canada et la façon d'aborder le sujet ont eu pour résultat un certain nombre de démonstrations réussies et le développement d'une base solide pour l'avenir. A mesure que s'améliore la résolution spatiale et spectrale des données prélevées par satellite, le Canada pourra appliquer les nouvelles techniques fondées sur l'expérience acquise au cours de la première décennie de Landsat.

Table 1

The Canada Land Inventory
Present Land Use Classification

1. Urban
 - Built-up area (inc. parks and open space)
 - Mines, Quarries, Sand and Gravel Pits
 - Outdoor Recreation
2. Horticulture, Poultry and Fur Operations
3. Orchards and Vineyards
4. Cropland
5. Improved Pasture and Forage Crops
6. Rough Grazing and Rangeland
 - natural grazing
 - woodland grazing
7. Woodland
 - productive
 - non-productive
8. Swamp, Marsh, Bog
9. Unproductive Land
 - (a) Sand
 - (b) Rock and Un-vegetated
10. Water

Source: McClellan et al. 1968.

Tableau 1

L'inventaire des terres du Canada
Utilisation du sol - classification actuelle

1. Région urbaine
 - agglomération urbaine (comprend les parcs et les régions ouvertes)
 - mines, carrières, carrières de sable et de gravier
 - récréation en plein air
2. Horticulture, élevage des volailles et des animaux à fourrure
3. Vergers et vignobles
4. Terres labourables
5. Pâturage bonifié et culture fourragère
6. Pâturage et grand pâturage
 - pâturage naturel
 - pâturage en terres boisées
7. Terres boisées
 - productives
 - non-productives
8. Marécage, marais, tourbière
9. Terres non-productives
 - a) sable
 - b) roches et terres dénudées
10. Eau

Source: McClelland et al., 1968.

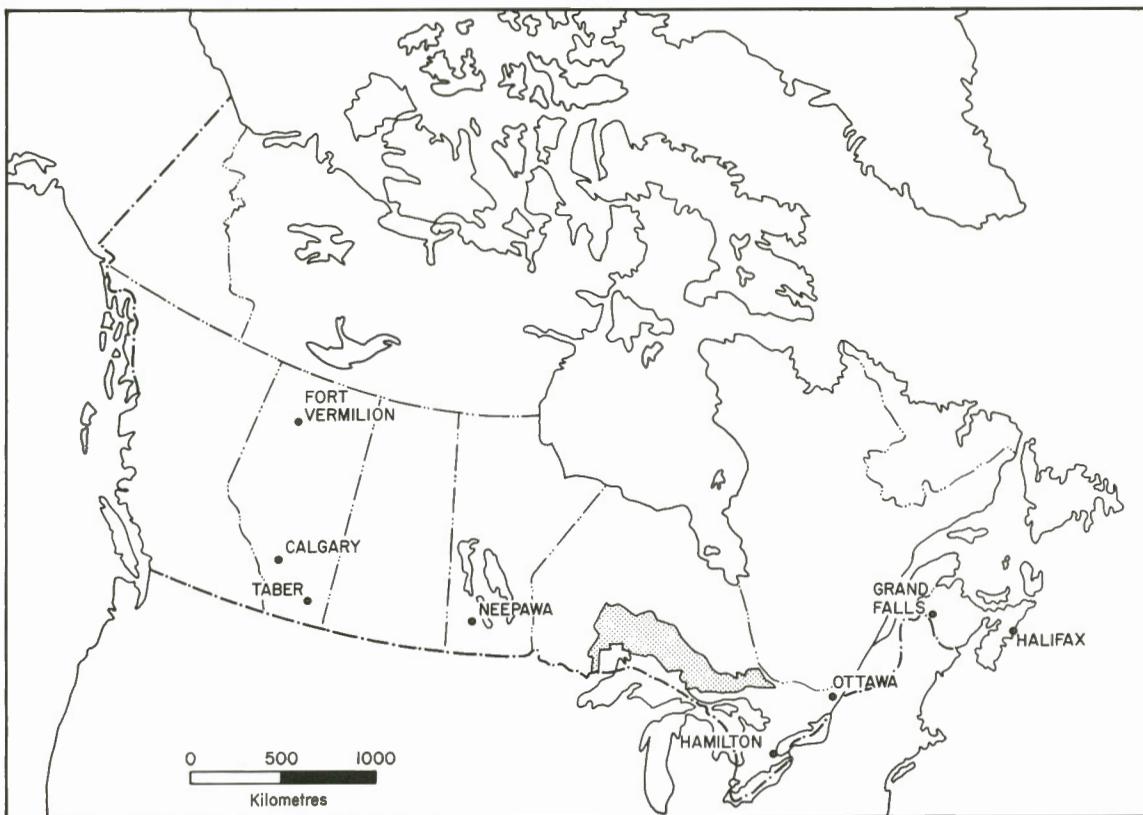


Figure 1.

THE USE OF LANDSAT IN MONITORING RESOURCE DEVELOPMENT IN CANADA

L'UTILISATION DE LANDSAT DANS LA SURVEILLANCE DU DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES AU CANADA

by/par

S. Aronoff² F.J. Bonn¹
H. Audirac³ A. Banner⁴ P.J. Howarth⁵
T. Lynham⁶ G. Rochon³

- | | |
|--|--|
| 1. Laboratoire de Télédétection, Département de Géographie, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec. | 1. Laboratoire de Télédétection, Département de Géographie, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec. |
| 2. Department of Forestry, University of California, Berkeley, California 94720. | 2. Department of Forestry, University of California, Berkeley, California 94720. |
| 3. Département de Photogrammétrie, Université de Laval, Québec. | 3. Département de Photogrammétrie, Université de Laval, Québec. |
| 4. INTERA Environmental Consultants Ltd., 4th Floor, Carling Square Phase II, 785 Carling Avenue, Ottawa, Ontario. | 4. INTERA Environmental Consultants Ltd., 4th Floor, Carling Square Phase II, 785 Carling Avenue, Ottawa, Ontario. |
| 5. Department of Geography, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario. | 5. Department of Geography, McMaster University, 1280 Main Street West, Hamilton, Ontario. |
| 6. Great Lakes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Environment Canada, P.O. Box 490, Sault Ste. Marie, Ontario. | 6. Great Lakes Forest Research Centre, Canadian Forestry Service, Environment Canada, P.O. Box 490, Sault Ste. Marie, Ontario. |

INTRODUCTION

Canada's natural resources such as forests, minerals, petroleum and natural gas place it among the worlds best endowed in the resource field. Close to 40% of Canada's GNP comes from these resources which are scattered over a huge (9 992 330 km²) and mostly inaccessible territory.

Resources are classified as renewable, as in the case of forests, or non-renewable as in the case of mines and hydrocarbons. To a large extent, development depends on a variety of remote sensing techniques: aeromagnetic or gravimetric surveys, aerial photography, and more recently, multispectral imaging provided by satellites such as Landsat.

Data provided by Landsat have certain unquestionable advantages. Cost per km² is definitely lower than for aerial methods and information provided can be obtained repeatedly, thus allowing for frequent updating of resource-usage maps at reasonable cost. Image resolution, however, is still inferior to that obtained by aerial methods. Landsat data allows for quick detection of areas where important changes have occurred, and by concentrating aerial survey on those areas, achieves considerable reduction in the cost of updating maps (Fleming, 1980). It also allows evaluation of the potential of renewable resources through follow-up over time and in space of changes brought about by man or by natural causes such as plant parasites (Audirac, 1978; Aronoff, 1978).

Nevertheless, the routine application of Landsat for monitoring resources is by no means in general use or fully operational. Discussion here pertains either to methodological trials or to pilot projects with technology which is transferable and applicable in the short or medium term. The areas chosen are located in different parts of Canada (Figure 1): the Sudbury, Ontario region (Gregory, 1975) characterised by a few surface mining operations; Athabasca tar sands (Aronoff, 1978) where development is accompanied by intense deforestation; the spruce budworm damaged Laurentide Park region in Québec (Andirac, 1978); and the New Brunswick forest sector subject to commercial forestry operations (Banner, 1981).

This article is subdivided into three parts. The first is a review of the principal environmental changes brought about by forest and mining operations, and their effects detectable by satellite. The second

Le Canada est un pays qui possède l'un des plus gros réservoirs de richesses naturelles au monde. Ces dernières se situent surtout dans les forêts, les mines, le pétrole et le gaz naturel. Près de 40% du produit national brut du Canada provient de ces ressources dispersées sur un territoire immense (9 992 330 km²) qui est grande partie difficile d'accès.

Les ressources se classent comme renouvelables, par exemple la forêt ou comme non-renouvelables comme les mines et les hydrocarbures. Leur développement s'appuie pour une grande part sur des méthodes de télédétection au sens large: levés aéromagnétiques ou gravimétriques, photographies aériennes, et plus récemment, imageries multispectrales fournies par des satellites comme Landsat.

Les données Landsat présentent des avantages certains. Leur coût au km² est nettement inférieur à celui des données aéroportées, leur acquisition peut-être répétitive. Elles rendent ainsi possible une mise à jour fréquente des cartes d'exploitation des ressources à un coût raisonnable. Cependant la résolution des images reste inférieure à celle des données aéroportées. Elles permettent de détecter rapidement les secteurs où des changements importants ont eu lieu, et en concentrant les survols aériens dans ces secteurs, permettent de réduire considérablement le coût des opérations reliées à la remise à jour des cartes (Fleming, 1980). Elles permettent aussi d'évaluer l'évolution du potentiel des ressources renouvelables, en suivant dans le temps et dans l'espace des modifications qui peuvent être causées par l'homme ou par des causes naturelles comme des parasites végétaux (Audirac, 1978; Aronoff, 1978).

Mais l'utilisation de Landsat pour la surveillance des ressources est loin d'être opérationnelle et généralisée. Les travaux dont il va être question ici sont tous des essais méthodologiques ou des projets pilotes, dont la technologie est transférable et applicable à plus ou moins brève échéance.

Les secteurs choisis ici se situent dans diverses régions du Canada (Figure 1):

la région de Sudbury, Ontario (Gregory, 1975), caractérisée par diverses mines à ciel ouvert; la région des sables bitumineux de l'Athabasca (Aronoff, 1978) où l'exploitation se traduit par

is a comparison of the various methods applied in Canada in the analysis of Landsat images obtained at various time intervals. The third is a discussion of conversion of these methods from methodology to operational use and of future prospects.

THE IMPACT OF RESOURCE DEVELOPMENT ON THE ENVIRONMENT

The development of natural resources is usually accompanied by extensive environmental changes in the dynamics of ecosystems as well as in the landscape. Landsat detects mainly changes in cover. Cut-overs and mining operations leave the soil bare and produce concentrations of pollutants and an accumulation of waste. Plant disease due to infestation of parasites such as the spruce bud worm may also contribute to a changed landscape.

The rate of change perceived on Landsat data is an important factor in determining the usefulness of multirate analyses. The combination of weather conditions prevalent in most parts of Canada and satellite repetitive coverage, every 18 days, result in no more than two or three high quality images per year being obtained. In arctic regions this number is sometimes reduced because of the long period of winter darkness. The most clearly visible effects are those that overlap several years, such as forestry or mining operations, whereas more rapid changes such as the phenological stages of vegetation cannot be always monitored accurately.

Alterations in the forest cover allow detection of most changes and Canada possesses extensive research experience with remote sensing in this field. A number of methodologies have been established which vary with the researcher, the organization and the region. Various types of problems have been encountered: the location of mining wastes and their environmental impact (Gregory, 1975; table 14); the appraisal of areas affected by tar sands development (Aronoff, 1978); the identification of sectors affected by spruce bud worm to estimate the merchantable forest area and the forest fire hazard (Audirac, 1978; Stocks et al, 1981); the updating of topographical maps for future editions (Fleming, 1980) and survey of logging roads (Gignac, 1981).

To date this information has been obtained and periodically brought up to date by means of statistical data and aerial surveys. However, these conventional methods are very costly and, given the limited

une intense déforestation; la région du parc des Laurentides au Québec, affectée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Audirac 1978); et le secteur forestier du Nouveau Brunswick, soumis à une exploitation commerciale du bois (Banner 1981).

Cet article se divise en trois points. Le premier offre une revue des principaux effets environnementaux dus à l'exploitation des ressources forestières et minières ainsi que leurs manifestations détectables par satellite. Le deuxième est une comparaison des différentes méthodes utilisées au Canada dans le domaine de l'analyse multitemporelle des images Landsat. Le troisième présente une discussion sur la mise en opération des méthodes ainsi que sur les perspectives d'avenir.

LES EFFETS DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES SUR L'ENVIRONNEMENT

La mise en valeur des ressources naturelles se traduit habituellement par des modifications importantes de l'environnement tant du point de vue de la dynamique des écosystèmes que de l'aspect des paysages.

Ce sont surtout les modifications d'aspect qui sont détectées par Landsat. Les coupes forestières et les exploitations minières dénudent le sol. Ces dernières produisent, en plus, des concentrations de polluants ou des accumulations de déchets. Les maladies végétales causées par des parasites comme la tordeuse du bourgeon de l'épinette peuvent contribuer aussi aux modifications d'aspect.

La vitesse de développement des modifications perceptibles par Landsat est un facteur important qui va déterminer l'utilité des analyses multirates. Dans la plupart des régions du Canada, la combinaison des conditions météorologiques et de la fréquence de passage du satellite, tous les 18 jours, ne donne guère plus de deux à trois images de bonne qualité par an. Dans l'arctique à cause de la longue période d'obscurité hivernale ce nombre est parfois moindre. Les modifications les plus visibles sont donc celles qui s'étalent sur plusieurs années, comme l'exploitation forestière ou le développement minier, alors que les changements plus rapides comme les étapes phénologiques de la végétation ne peuvent pas toujours être suivis avec précision.

La plupart des changements sont détectés par l'intermédiaire des

resources of the cartographic organizations, revised maps are published less frequently.

Methods developed in Canada and based on Landsat imaging rely either on visual analysis of images (Gregory, 1975; Gignac, 1981) or on digital analysis, as described by most other authors. The methodology described in the following section involves mainly digital analysis.

METHODOLOGY APPLIED IN STUDIES OF CHANGE OVER TIME SHOWN BY LANDSAT IMAGES

All Canadian researchers use multirate analysis, a process which can be reduced to four main stages: preprocessing, registration of images, viewing and classification of results obtained (Audirac, 1978).

Preprocessing - When conducting a multirate study based on Landsat images, all variations having no bearing on land changes must be eliminated from the images taken at different dates. These variations are basically of a geometric or radiometric nature.

Geometric corrections - When no geometric correction has been made to the Landsat images they must first be made compatible with and registrable on a cartographic projection system such as a UTM grid. The procedures followed vary according to the author. Reference points on the ground are usually included in the image and a geometric correction made so that the image becomes registrable on a map of known projection. This correction, usually brought about by a polynomial type of transformation, is followed by another sampling of pixels applying a resolution chosen by the user. This final sampling can be achieved by various methods (nearest neighbour, cubic convolution, sinusoidal transformation) and allows the user to choose, within certain limits, the resolution of his final image. (Audirac, 1978). Subsequent images are superimposed on the first corrected image, following a similar procedure. The operator's work is made much easier when a system such as the CIAS is used (Goodenough, 1979), allowing display of both images on the same screen. The whole operation requires substantial computer time (several hours), unless a computer equipped with a parallel processor, which simultaneously speeds up operations, is used.

This tedious and costly geometric correction operation can be completely eliminated if DICS images are used (Butlin,

modifications de la couverture forestière. L'expérience de recherche en télédétection au Canada dans ce domaine est considérable. Diverses méthodologies ont été établies. Elles changent selon les chercheurs, les organismes et les régions. Les problèmes rencontrés sont de différents types:

- localisation de déchets miniers et la production de cartes démontrant leurs effets sur l'environnement (Gregory, 1975) (Planche Couleur 14);
- évaluation des surfaces affectées par l'exploitation des sables bitumineux (Aronoff, 1978);
- identification des secteurs affectés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, pour l'évaluation du bois récoltable et des risques d'incendies de forêt (Audirac, 1978; Stocks et al, 1981);
- mise à jour des cartes topographiques pour les éditions subséquentes (Fleming, 1980) et relevé des chemins d'exploitation forestière (Gignac, 1981).

Jusqu'à présent, ce type de problèmes est résolu avec des mises à jour occasionnelles, en se basant sur des statistiques et des relevés aériens. Cependant, ces méthodes traditionnelles sont d'un coût très élevé, ce qui a pour effet de réduire la fréquence de parution des cartes révisées, compte tenu des ressources relativement limitées des services cartographiques.

Les méthodes développées au Canada à partir des images Landsat s'appuient soit sur une analyse visuelle des images (Gregory, 1975; Gignac, 1981) soit sur une analyse numérique pour la plupart des autres auteurs. La méthodologie décrite dans la section suivante concerne essentiellement l'analyse numérique.

LES METHODOLOGIES EMPLOYEES DANS LES ETUDES DE CHANGEMENT TEMPORELS A PARTIR DES IMAGES LANDSAT

Tous les chercheurs canadiens utilisent pour les analyses multirates, une méthodologie qui peut être ramenée à quatre étapes principales: le prétraitement, l'assemblage des images, le visionnement et la classification des résultats obtenus (Audirac, 1978).

et al., 1978). DICS data have already been corrected on a UTM grid with samplings on 50 x 50m pixels. These images, produced only in Canada, cover four National Topographic System (NTS) 1/50 000 scale maps. The accuracy of registration of images made at different dates is of the order of $\frac{1}{2}$ pixel which seems acceptable for most applications.

Radiometric corrections - Radiometric corrections of images are intended to eliminate differences in radiance which do not correspond to variations in terrain reflectance and which are caused basically by the atmosphere. These corrections are based either on ground measurements made at times coincident with the satellite's passing (O'Neill and Miller, 1977), or on calibration determined by the reflectance of oligotrophic lakes (Ahern, et al., 1977b). Once radiometric corrections are completed, comparison of multitemporal images can be made.

Registration of images - On completion of the radiometric and geometric corrections of images, registration or comparison over time becomes possible. Comparison can be on the basis of single spectral bands, on the basis of indices or band ratios, or on the results of classification of images obtained on the same date, applying whichever method is most advantageous in each case (See Howarth et al., 1982, here).

Comparison can be made either by superimposition of images followed by a classification, or by contrasting or enhancement, or by registration of ratios.

To register images obtained on different dates, the images from the two dates are usually processed as or shown on two different channels. This method of comparison can be done on the basis of spectral bands, ratios of bands or classifications of the two different dates. These result in either unique colour composites or new classifications. Since most image analysis systems are limited to four channels, it is desirable to confine the information obtained from images taken at one date to one or two channels drawn from one image of the second date. If residual radiance, after atmospheric correction, is well calibrated then the changes observed are caused by changes in land use (Audirac, 1978).

The most complicated method does not always yield the best results. Banner, et al., (1981) have used vegetation indices of the type:

Les prétraitements - Pour réaliser une étude multidate à partir d'images Landsat, il faut commencer par éliminer entre les images prises à différentes dates les variations entrangères aux modifications du terrain. Ces variations sont essentiellement de type géométrique ou de type radiométrique.

Les corrections géométriques - Quand les images Landsat ne sont pas corrigées géométriquement, la première étape consiste à les rendre géométriquement compatibles et superposables à un système de projection cartographique tel la grille UTM. Les procédures utilisées varient peu d'un auteur à l'autre. Habituellement, des points de contrôle au sol sont introduits sur une image et une correction géométrique est réalisée de façon à rendre l'image superposable à une carte de projection connue. Cette correction, réalisée habituellement par une transformation de type polynomial, est suivie d'un nouvel échantillonnage des pixels selon une résolution choisie par l'utilisateur. Ce dernier échantillonnage peut être réalisé de diverses manières (plus proche voisin, convolution cubique, transformation sinusoidale) et permet à l'utilisateur de choisir, avec certaines limites, la résolution de son image finale (Audirac, 1978). Les images subséquentes sont superposées à la première image corrigée, selon une procédure similaire. La tâche de l'opérateur est grandement facilitée quand la transformation est réalisée sur le CIAS (Goodenough, 1979) ce dernier a la possibilité de faire apparaître les deux images sur le même écran. L'ensemble de l'opération peut requérir un temps de calcul assez long (plusieurs heures) à moins que l'ordinateur utilisé ne dispose d'un processeur parallèle qui accélère notablement les opérations, comme c'est le cas pour CIAS.

Cette opération de correction géométrique, toujours coûteuse et fastidieuse pour l'utilisateur, peut cependant être totalement éliminée si on utilise des images DICS (Butlin, et al., 1978). Les images DICS sont corrigées d'avance selon une grille UTM et sur échantillonnées avec des pixels de 50 x 50 m. Ces images, qui sont un produit qu'on ne retrouve qu'au Canada, couvrent l'équivalent en surface de quatre cartes topographiques au 1/50 000 du système national. La précision de superposition des images de dates différentes est de l'ordre du demi pixel, ce qui semble acceptable pour la plupart des applications.

Les corrections radiométriques - Les corrections radiométriques sur les images visent à éliminer les différences de radiance

$$V.I. = A \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5} + B,$$

(Tucker, 1979) for change assessment. These were compared to a colour composite on the video display using the MSS5 channels for both years (1978 and 1980). The 1978 image supplied the red gun of the CIAS. The second, simpler method, was more effective for mapping the nearly deforested areas of New Brunswick, where regrowth of a herbaceous layer affected the vegetation index and thus became a potential source of confusion (plates 15a and b).

Aronoff (1978) has used channels MSS5 and MSS6 of images taken in 1973 and 1976 to map deforestation resulting from the development of the Athabasca tar sands in Alberta. Supervised classification procedures based on known training sites were applied and yielded results which appear satisfactory. Only minor errors were detected and subsequently checked by airborne sensors as well as by ground verification.

Stocks, et al., (1981) used a combination of images from different dates in the winters of 1973 and 1976 to locate the areas affected by the spruce bud worm between these two dates. Defoliation resulting from infestation by the parasite makes the affected areas resemble deciduous stands on the winter images. The areas so affected present a potential fire hazard because of the excessive accumulation of dead wood and dry needles.

The subtraction of images at different dates is another way of showing up changes. In this case it is necessary for the residual radiance to be well calibrated after atmospheric correction, for the remainder after subtraction to equal zero in the unchanged areas (Rochon, 1975; Beaubien, 1977; Audirac, 1978). In a subtraction of images, the ratio of signal/noise tends to diminish. Especially non-uniform variations, such as those derived from topography, are amplified.

However, subtraction can be applied to a classification result provided that the selected classes are the same on the images of both dates. Nevertheless there is a considerable loss of precision, errors inherent to each classification being cumulative. Few authors therefore apply this method (Rubec and Thie, 1978).

Ratios of images from different dates are better since they have the advantage of eliminating variations due to topography from

qui ne correspondent pas à des variations de la réflectance du terrain. Celles-ci sont essentiellement dues à l'atmosphère. Ces corrections se basent soit sur des mesures au sol prises simultanément avec le passage du satellite (O'Neil et Miller, 1977) soit sur une calibration basée sur la réflectance des lacs oligotrophes (Ahern et al., 1977b). Une fois la correction radiométrique réalisée, la comparaison des images multodate devient possible.

Superposition des images

Les images étant corrigées géométriquement et radiométriquement, la superposition ou la comparaison temporelle devient possible. La comparaison peut se baser sur des bandes spectrales isolées, des indices ou rapports de bande ou encore sur le résultat de classifications réalisées à partir d'images unidates. Selon le cas, l'une ou l'autre de ces méthodes d'assemblage s'avère plus avantageuse. (Voir Howarth et al. 1982, ci-joint).

La comparaison peut se faire soit par concaténation d'images, suivies d'une classification ou d'un rehaussement, par soustraction ou par rapports.

Dans la concaténation d'images de dates différentes, les images de deux dates sont habituellement traitées comme autant de canaux différents. Cette méthode de comparaison peut-être produite en utilisant des bandes spectrales, des rapports de bandes ou des classifications établies à une date et des bandes ou rapports de bandes d'une autre date pour réaliser soit des composés couleurs, soit de nouvelles classifications. Comme la plupart des systèmes d'analyse d'images sont limités à quatre canaux, on essaie de réduire l'information issue d'une image unidate à un ou deux canaux qui seront tirés de l'image de la deuxième date. Si les radiances résiduelles après correction atmosphérique sont bien calibrées, les changements observés résultent de changements dans l'utilisation du sol (Audirac, 1978).

Les concaténations les plus compliquées ne donnent pas toujours les meilleurs résultats. Banner et al (1981) ont utilisé des indices végétation tels que ceux décrits par Tucker (1979) du type:

$$V.I. = A \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5} + B,$$

afin de déterminer les changements. Les résultats furent comparés à un composé couleur affiché sur écran vidéo en utilisant des

the residual radiance (Audirac, 1978). This type of combination is therefore especially applicable to uneven terrain where the majority of classification systems cannot be applied without a digital model of the area (Banner and Lynham, 1981).

Display - In general, changes over time affect only a part of the image, and often only slightly in the case of plant disease. It is therefore important to display the images or the results in a manner that will intensify the changes. Factors which represent change can be enhanced by contrast stretching, or principal components can be accentuated and various combinations of colour obtained by utilizing the options for independent colour control on a digital analysis system such as the CIAS.

Accentuating contrasts is often used on images obtained by subtraction or by ratios. The procedure is applicable to a black and white photographic or video data to computer printout maps.

The accentuating of principal components (Karhunen-Loeve transformation) can be used with images from different dates as well as with images composed of different spectral bands.

When the chosen channels have the same spectral characteristics for both dates, and when atmospheric correction is adequate, the second principal component more clearly represents the changes that have occurred. Displaying of resulting images can be achieved by means of Taylor's (1974) method for improvement, whereby the intensity of the signal depends on the first component, whereas chromacity depends on the two following components.

Howarth and Wickware (see the accompanying paper) have used several combinations of bands and band ratios for two different dates (1975 and 1976) to supply the three beams of colour on the CIAS screen by making use of only Landsat channels 5 and 7, which contain the basic information needed for vegetation studies. Depending upon the combinations chosen, different phases of plant growth can be shown in the Peace/Athabasca delta region (Alberta).

The displaying stage, which often involves interaction between operator and machine, may be followed by a classification of information stage and usually by production of workable results.

canaux MSS 5 de ces mêmes deux années (1978 et 1980). L'image de 1978 alimentait les faisceaux bleus et verts, alors que l'image de 1980 alimentait le faisceau rouge sur le CIAS. Pour la cartographie des zones fraîchement déboisées au Nouveau-Brunswick, la deuxième méthode, plus simple, a donné de meilleurs résultats car, dans les zones déboisées, la repousse d'une strate herbacée affecte l'indice de végétation devenant ainsi une source potentielle de confusion. (Planche 15a et b).

Aronoff (1978) a utilisé, pour cartographier le déboisement consécutif à l'exploitation des sables bitumineux de l'Athabasca en l'Alberta, les canaux MSS 5 et MSS 6 d'images prises en 1973 et en 1976. Une procédure de classification supervisée à partir de sites d'entraînement connus leur a été appliquée. Les résultats semblent satisfaisants. Seules des confusions mineures ont été relevées puis vérifiées par l'utilisation de capteurs aéroportés ainsi que par des mesures sur le terrain.

Stocks et al (1981) ont utilisé des combinaisons multidates d'images d'hiver (1973 et 1976) pour identifier les secteurs atteints par la tordeuse des bourgeons de l'épinette entre ces deux dates. La défoliation qui résulte de l'infestation par ce parasite rend les secteurs atteints semblables à des secteurs de feuillus sur les images d'hiver. Les régions atteintes constituent un danger potentiel d'incendie de forêt vu l'accumulation excessive de bois mort et d'épines desséchées.

La soustraction des images de dates différentes est une autre façon de faire apparaître les changements. Il faut dans ce cas que les radiances résiduelles après correction atmosphérique soient bien calibrées de façon à ce que le résultat de la soustraction dans les secteurs où il n'y a pas de changement soient nuls (Rochon, 1975; Beaubien, 1977; Audirac, 1978). Dans une soustraction d'images, le rapport signal/bruit tend à être diminué. En particulier les variations non-uniformes spatialement, comme celles reliées à la topographie, s'en trouvent accentuées.

Par contre, la soustraction peut s'appliquer au résultat d'une classification, si les classes choisies sont les mêmes sur les images des deux dates. Cependant la perte de précision dans ce cas est considérable, les erreurs inhérentes à chaque classification étant alors cumulées. Peu d'auteurs ont recours à cette méthode. (Rubec et Thie, 1978).

CLASSIFICATION AND PREPARATION OF MATERIAL FOR INTERPRETATION

Two methods have been used in the past for classification of multispectral images in remote sensing: (a) In the supervised methods the operator identifies known sites on the image and requests that the machine locate other areas on the overall images which have similar spectral characteristics; (b) In the un-supervised methods, the computer itself seeks out groups with similar spectral characteristics and classifies these by frequency in order of decreasing numbers. The number of categories may be determined by the operator.

The channels which serve as inputs to classification programs can either be corrected spectral bands, or the results of various transformations such as band ratios, or analyses of principal components. Significant errors in the definition of certain categories may result in classifications where topography is an important control (Rochon and Rocksandic, 1982). Compensation for these errors can be made either by introduction of a digital model of the site (Rochon 1979), or by analysis and manual transfer of an image enhanced and corrected against the background of a forestry map (Beaubien, 1982).

A weakness in current remote sensing techniques both in Canada and abroad lies in the transition from the final product (enhanced image or classification) to a useable map. The very structure of the images is such that remote sensing produces results in flat colours, making it difficult to register other cartographic or geocoded information. The exploration of this problem provides a new area for research in which work has begun in Canada (Goodenough, et al., 1979). This research should allow a more efficient application of the results of studies on change-detection in resource management and should facilitate technology transfer.

RESULTS AND APPLICATION IN RESOURCE MANAGEMENT PROCEDURES

Integration of the use of Landsat data into resource management procedures is far from being generally applied in Canada or in many other countries. However, applications have been found for some of these methods, especially those bearing on temporal changes. Their introduction to operational applications should, in certain cases, be a simple matter. The Landsat studies of changes over time are currently being used

Les rapports d'images de dates différentes sont plus avantageux. Ils ont la propriété de faire disparaître, des radiances résiduelles, les variations reliées à la topographie (Audirac, 1978). Ceci rend ce type de combinaison particulièrement intéressant pour les terrains accidentés, milieu où la plupart des systèmes de classification ne peuvent s'appliquer sans l'introduction d'un modèle numérique de terrain (Banner et Lynham, 1981).

La visualisation des résultats

Les changements dans le temps n'affectent en général qu'une partie des images, souvent de façon subtile dans le cas des maladies végétales, il est donc important de visualiser les images ou les résultats de façon à maximiser la perception des changements. On peut avoir recours à des accentuations de contraste centrées sur les valeurs représentant les changements, à des rehaussements par composantes principales ou à diverses combinaisons de couleurs utilisant les possibilités de commande indépendante des couleurs sur les systèmes d'analyses numériques comme le CIAS.

Les accentuations de contraste sont souvent utilisées dans le cas des images résultant de soustractions ou de rapports. Elles sont aussi facilement compatibles avec les systèmes de représentation en noir et blanc, comme certaines imprimantes par points.

Les rehaussements par composantes principales (ou transformation de Karhunen-Loeve) peuvent s'appliquer à des images de dates différentes aussi bien qu'à des images composées de bandes spectrales différentes.

Dans le cas où les canaux choisis sont les mêmes spectralement pour les deux dates et que la correction atmosphérique est convenable, c'est la deuxième composante principale qui va représenter le mieux les changements qui ont eu lieu. La visualisation des images résultantes peut être réalisée selon la méthode d'amélioration de Taylor (1974) où l'intensité du signal est fonction de la première composante, alors que la chromaticité est fonction des deux suivantes.

Howarth et Wickware (ci-joint) ont utilisé plusieurs combinaisons de bandes et rapports de bandes de deux dates différentes (1975 et 1976) pour alimenter les trois faisceaux de couleurs de l'écran du CIAS en se servant exclusivement des canaux 5 et 7 de

operationally to update topographical maps in Canada. Fleming (1980) has shown that the use of Landsat data to revise maps (scale 1/250 000) resulted in an 88% reduction of aerial photographs taken for four maps, by concentrating on areas where there were significant changes. Changes in linear configuration are the most apparent (roads, powerlines), while surface changes, especially those in outskirts of cities, are less visible (see colour plate 9). A resolution of 80m of the multi-spectral scanner seems suitable for maps on the 1/250 000 scale, while the tests made using RBV sometimes lead to errors in interpretation.

Initial mapping and updating of maps of logging roads in Quebec have also been done by Gignac (1981). Even though the roads have a width less than that of a resolution element, the high contrast attributed to altered conditions due to deforestation subsequent to construction of such roads are sufficient to be perceptible, particularly in the MSS5 band.

Landsat multirate images can also be applied in classification of land for various uses. In geological studies they accentuate structural components (winter images at low angle of solar rays); or (in summer images) they make possible location of loose deposits where vegetation becomes established in the North-West Territories (Gregory, 1974). In the same way Schrier, et al., (1982) were able to determine the relative mobility of overland vehicles in the arctic by comparing summer and winter images. Stocks, et al. (1981) were able to map spruce bud worm infested areas and to produce maps of combustible forest materials for prevention of forest fires.

In Canada the operational use of Landsat images for resource management is still in its infancy in spite of the enormous potential of multirate analyses. There are various obstacles to be overcome due to administrative inertia, management's resistance to change, and preference for tried and true conventional methods. Another obstacle is the absence of simple, easily applied processing systems in the agencies responsible for natural resource management. Furthermore, minor errors sometimes found in classification results lead to a sceptical attitude to Landsat. A final obstacle is the unjustified fear that employees in some sectors may become redundant as a result of the new methods. For these reasons, semi-finished, more easily understood, products such as contrast enhanced images are

Landsat, qui contiennent l'essentiel de l'information requise pour l'étude de la végétation. Selon les combinaisons choisies, ils ont pu mettre en évidence différentes phases de la croissance végétale dans la région du delta commun des rivières Peace et Athabasca, en Alberta.

L'étape du visionnement, réalisée souvent au moyen d'une interaction entre l'opérateur et la machine, est souvent suivie d'une étape de classification et de production d'un document utilisable.

Classification et production de documents interprétables

Traditionnellement, en télédétection, les méthodes de classification des images multispectrales se ramènent à deux types principaux:

- a) les méthodes supervisées, où l'interprète identifie sur l'image des sites connus et demande à la machine de rechercher sur l'ensemble de l'image les secteurs ayant des caractéristiques spectrales semblables.
- b) les méthodes non-supervisées, où l'ordinateur recherche lui-même des groupements de propriétés spectrales voisines et les rassemble en classes, selon la fréquence par nombre décroissant. Le nombre de classes est peut être déterminé par l'utilisateur.

Les canaux qui servent d'intrants aux programmes de classification peuvent être soit des bandes spectrales corrigées, soit le résultat de certaines transformations comme des rapports de bandes ou des analyses de composantes principales. A cause du rôle important de la topographie (Rochon et Rocksandic, 1982), les algorithmes de classification amènent parfois des erreurs importantes dans la définition de certaines classes. Ceci peut être compensé, soit par l'introduction d'un modèle numérique de terrain (Rochon, 1979), soit par une analyse et un transfert manuel d'une image rehaussée et corrigée sur un fond de carte forestière (Beaubien, 1982).

Un des points faibles de la télédétection actuelle, aussi bien au niveau canadien qu'au niveau mondial, est certainement le passage du document final (image rehaussée ou classification) à une carte utilisable. Les documents de télédétection se présentent toujours, à cause de la structure même des images, sous forme de teintes à plat, rendant difficilement possible la superposition

often better accepted (Audet, 1981) than the complete classification and then final map of the region under study.

CONCLUSION

In the field of monitoring resources in Canada, the study of change over time in land as shown by Landsat has undergone a significant methodological evolution in the past decade. The Canadian scientific community in this field is sufficiently small to enable researchers to short-cut the traditional method of scientific publication and take advantage, by means of personal contact, of techniques developed individually. Moreover, the availability on the market of DICS images has reduced considerably the tedious aspect of geometric corrections as well as the computer time. Even if operational integration to the resource management process is not yet fully achieved, progress has been in the right direction. The technology transfer programme from the Canada Centre for Remote Sensing and provincial agencies is a major step. The programme will no doubt be facilitated by the future Landsat-D and SPOT satellites (preliminary Earth observation system), which with improved resolution, new spectral bands and the possibility of stereoscopic viewing (in the case of SPOT) will provide better tools at the disposal of the managers of Canada's natural resources.

d'autres informations cartographiques ou géocodées. Il y a là certainement une avenue de recherche à explorer et des amorces dans ce sens on déjà été explorées au Canada (Goodenough et al., 1979). Ces recherches devraient permettre une meilleure mise en opération des études de changement dans les procédés de gestion des ressources et faciliter les transferts de technologie.

RESULTATS ET MISE EN OPERATION DANS LES PROCEDES DE GESTION DES RESSOURCES

L'intégration de l'utilisation des données Landsat dans les procédés de gestion des ressources est loin d'être opérationnelle, aussi bien au Canada que dans beaucoup d'autres pays. Cependant, un certain nombre d'études, en particulier celles concernant les changements temporels, ont déjà trouvé que l'introduction des ces applications sont d'autant plus faciles que dans certains cas, elles sont très simples à mettre en place.

Les études de changements temporels à l'aide de Landsat sont actuellement utilisées pour la remise à jour des cartes topographiques au Canada. Fleming (1980) a montré que l'utilisation de Landsat pour la révision des cartes au 1/250 000 a permis d'économiser 88% des prises de photographies aériennes (pour quatre cartes) en les concentrant dans les secteurs à fort changement. Les changements les plus visibles sont les changements linéaires (routes, lignes de transmission) alors que les changements en surface, surtout dans les zones périurbaines, sont moins visibles (voir planche couleur No. 9). La résolution de 80 m du MSS semble suffisante pour les cartes au 1/250 000 alors que des essais réalisés avec le RBV amènent parfois des erreurs d'interprétation.

Gignac (1981) a pu également cartographier et remettre à jour des cartes de chemins d'exploitation forestière au Québec. Même si les chemins n'ont pas la largeur d'un élément de résolution, le contraste élevé à la perturbation apportée par le déboisement consécutif à la construction de chemins forestiers est suffisante pour être perçue, en particulier dans la bande MSS 5.

Les images multitudes Landsat trouvent également leur application dans la classification des terres pour différents types d'applications. Des analyses multitudes au cours d'une même saison végétative permettent diverses utilisations. En géologie, elles mettent en relief des

éléments structuraux (images d'hiver à angle solaire faible) ou permettent de localiser les dépôts meubles qui fixent la végétation (images d'été) dans les territoires du Nord-Ouest (Gregory, 1974). De la même façon, Schrier et al. (1982) ont pu établir des classes de mobilité pour les véhicules tous terrains dans l'arctique à partir de comparaisons entre des images d'été et des images d'hiver Stocks et al. (1981) ont pu cartographier les secteurs infestés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et en déduire des cartes de combustibles forestiers pour la prévention des incendies.

La mise en opération réelle de l'utilisation des images Landsat, aux fins de la gestion des ressources, en est encore à une phase embryonnaire au Canada, malgré le grand potentiel représenté par les analyses multidates. Les obstacles sont de diverse nature. Ils tiennent à la fois à l'inertie administrative et à la résistance au changement de la part des gestionnaires qui utilisent des méthodes traditionnelles éprouvées et rodées. L'absence de systèmes de traitement simples et facilement opérables dans les agences gouvernementales qui sont chargés de la gestion des ressources naturelles, est aussi un obstacle. De plus, les erreurs parfois mineures repérées dans les résultats de classification font que les méthodes Landsat sont souvent accueillies avec un certain scepticisme. Un dernier obstacle est une crainte non justifiée mais réelle de voir des employés de certains services devenir inutiles vu l'emploi de nouvelles méthodes. C'est pourquoi la soumission de produits semi-finis, comme des images rehaussées, est souvent mieux perçue (Audet, 1981) que la présentation de classifications complètes et de cartes finales du territoire.

CONCLUSION

L'étude des changements temporels de l'utilisation du sol au Canada à l'aide de Landsat dans le domaine de la surveillance des ressources a subi depuis une dizaine d'années une évolution méthodologique importante. La communauté scientifique canadienne dans ce domaine est suffisamment petite pour que les chercheurs aient pu tirer avantage réciproquement des techniques développées par chacun au moyen de communications interpersonnelles plus rapides que la voie traditionnelle des publications scientifiques. De plus, l'arrivée sur le marché des images DICS a considérablement réduit le côté fastidieux associé aux corrections géométriques et réduit notablement les temps de calcul nécessaires.

Si l'intégration opérationnelle aux processus de gestion des ressources n'est pas encore faite, elle est cependant en bonne voie. Le programme de transfert de technologie du Centre Canadien de Télédétection et les agences provinciales est un bon pas dans ce sens. Celui-ci sera probablement facilité par les futurs satellites Landsat-D et SPOT (système probatoire d'observation de la Terre), dont la résolution accrue, les bandes spectrales nouvelles et la possibilité de vision stéréoscopique (pour SPOT) en feront des outils plus attrayants pour les gestionnaires des ressources naturelles du Canada.

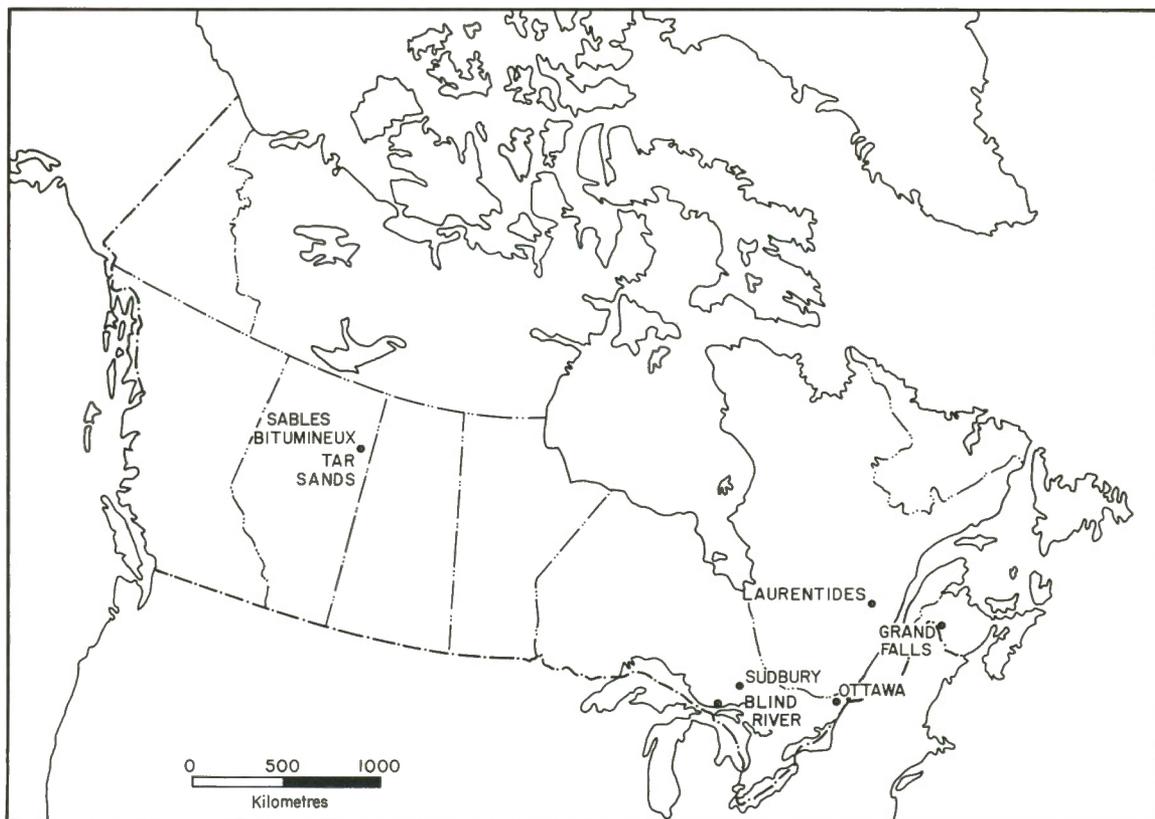


Figure 1.

CONCLUSION

The three papers presented in this document have covered the most important aspects of geographical change in Canada and the status of monitoring these changes using the Landsat data acquired over the past decade. For a country such as Canada, with vast areas of renewable and non-renewable resources frequently located in regions of difficult access, the promise of Landsat coverage has been an enticing one. Ten years of systems and methodology development and applications evaluation have generated a realistic approach to the use of Landsat data, as demonstrated in the three papers presented.

Howarth et al., in the paper regarding Landsat monitoring of hydrologic and coastal change in Canada, Ryerson et al., evaluating Landsat for monitoring agricultural and urban intensification, and Bonn et al., discussing Landsat for monitoring resource development, have all come to relatively similar conclusions. Selection of case studies carried out over the Landsat decade have illustrated the development of Landsat analysis methodology in Canada; initial studies used relatively simple visual techniques and crude overlay methods for change detection, while current users are able to access standard geometrically corrected DICS products which allow subpixel accuracy for temporal overlays. This single product development has important, future environmental monitoring implications in all three subject areas because of accuracy improvements and time-saving.

Each of the three authors similarly points out the evolution of simple but powerful techniques for Landsat data analysis, most frequently relying on visual display and manipulation of digital data. This approach has had important implications for the final use of the results and incorporation of this methodology into routine management information systems; visual displays are less foreign to the untrained user or manager than purely numerical analyses (Ryerson et al. discussion of rangeland work by Brown et al. (1981)), and help to reduce the administrative resistance to new technology noted by Bonn et al.

The case studies discussed demonstrated an important point; each change detection problem requires an individual solution based on its nature and information requirements; consequently, there is no

Les trois études présentées dans ce document couvrent les aspects les plus importants des changements géographiques au Canada et de la situation de la surveillance de ces changements au moyen des données Landsat prélevées depuis dix ans. Pour un pays comme le Canada, qui possède de vastes ressources renouvelables et non-renouvelables, souvent situées dans des régions difficile d'accès, la couverture Landsat offre des possibilités intéressantes. Dix années de mise au point de systèmes et de méthodes et d'évaluation des applications ont engendré une façon réaliste d'aborder l'utilisation des données Landsat, comme l'indiquent ces trois études.

Howarth et al., dans le texte sur la surveillance Landsat des changements hydrologiques et côtiers au Canada, Ryerson et al., dans son évaluation du Landsat pour la surveillance de l'intensification agricole et urbaine, et Bonn et al., dans le texte sur l'utilisation de Landsat pour surveiller l'aménagement des ressources, ont tous abouti à des conclusions plus ou moins semblables. Le choix d'études menées au cours de la décennie de Landsat illustre Landsat; les premières études ont employé des méthodes visuelles relativement simples et des méthodes de recouvrement rudimentaires pour déceler les changements, tandis que les utilisateurs d'aujourd'hui ont accès à des produits DICS normalisés, corrigés géométriquement, qui permettent la superposition multidata à une précision de l'ordre du pixel. Cette mise au point d'un seul produit offre des possibilités importantes pour la surveillance environnementale future dans les trois domaines, étant donné l'amélioration de la précision et l'économie de temps.

Les trois auteurs ont chacun souligné l'évolution de méthodes simples mais puissantes pour l'analyse des données Landsat. Ces méthodes sont généralement fondées sur la présentation visuelle et la manipulation de données numériques. Cette façon d'agir a eu des répercussions importantes sur l'emploi final des résultats et l'incorporation des méthodes dans les systèmes intégrés courants de gestion; la présentation visuelle est moins étrange pour l'utilisateur ou le gestionnaire sans formation que les analyses purement numériques (voir la discussion de Ryerson et al. sur l'étude des grands pâturages de Brown et al. (1981)), et aide à réduire la

single methodology which is applicable in all cases. Even where similar problems are identified in similar environments (e.g., Howarth et al., discussion of James Bay and Peace-Athabasca Delta), the solutions using Landsat data may be very different and will usually result from experimentation with the data.

The discussions of case studies have also demonstrated the necessity of using archived Landsat data for effective monitoring of geographical change in Canada. Provision of historical data using archived Landsat CCT's was of vital importance in such studies as the Roberts Bank Port (Tomlins and Thomson, 1980), and the Manitoba Land Use study (Rubec and Thie, 1978). Similarly, all three papers look to future developments with Landsat D and SPOT for improved spectral and spatial resolution, and their implications for monitoring of Canadian resources.

While research into and development of improved remote sensors, systems and applications continues, the Canadian emphasis after a decade will continue to be placed on development of operational uses for resource monitoring with Landsat data. A series of demonstration or pilot projects in promising fields is currently being supported by both federal and provincial governments and by industry, and the transfer of Landsat technology from research to operations will remain a continuing priority.

In fact, technology transfer has received international emphasis, with Canadian scientists and businesspersons making significant contributions in such countries as Peru (Dubois, 1978), Upper Volta (Rochon et al., 1980), and Thailand. The consolidated, relatively small, and organized nature of the National Remote Sensing Program in Canada is viewed by potential receiver countries as relevant, operational and transferable to their individual situations (W.D. Bruce, CCRS Applications Division, Personal Communication to M.D. Thompson, 15 February 1982).

While such programs are being carried out using currently available Landsat MSS and RBV data, simulation of the new sensor data to be obtained from the thematic mapper on Landsat D (Ahern et al., 1980) and from the French satellite SPOT is being conducted using the CCRS airborne multispectral scanner. Eagerly awaited data from these new satellites and from those to follow will have greater spectral, spatial and radiometric resolution, and will launch a new series of

résistance administrative à la nouvelle technologie constatée par Bonn et al.

Les études soulignent un point important: chaque problème lié à la détection des changements exige une solution particulière fondée sur la nature du problème et sur les besoins en matière d'information. Par conséquent, aucune méthode unique ne peut s'appliquer à tous les cas. Même lorsqu'on identifie des problèmes semblables dans des environnements semblables (p. ex., la discussion de Howarth et al. sur la Baie James et le delta des rivières Peace et Athabasca), les solutions fondées sur les données Landsat peuvent être très différentes et résultent généralement de la mise à l'essai des données.

Les cas étudiés soulignent également la nécessité d'utiliser les données Landsat enregistrées pour surveiller efficacement les changements géographiques au Canada. Les données historiques provenant de bandes ordinaires Landsat enregistrées ont joué un rôle essentiel dans l'étude du port de Roberts Bank (Tomlins et Thomson, 1980) et dans l'étude de l'utilisation du sol au Manitoba (Rubec et Thie, 1978). Les trois études prévoient également l'amélioration de la résolution spectrale et spatiale par Landsat et SPOT, et les répercussions dans le domaine de la surveillance des ressources canadiennes.

Pendant que se poursuivent les travaux de recherche et de développement dans le domaine de l'amélioration des écographes, des systèmes et des applications, l'accent au Canada sera placé sur la mise au point de services opérationnels pour la surveillance des ressources au moyen des données Landsat. Les gouvernements fédéral et provinciaux et l'industrie appuient présentement une série de projets de démonstration ou de projets-pilotes dans des domaines prometteurs; le transfert des techniques Landsat du domaine des recherches à celui de l'exploitation demeure toujours une priorité.

En effet, le transfert technologique se fait au niveau international, des gens d'affaires et des scientifiques canadiens ayant apporté des contributions importantes au Pérou (Dubois, 1978), à la Haute Volta (Rochon et al., 1980) et à la Thaïlande. La nature consolidée, plutôt petite et organisée du Programme national de télédétection au Canada est considérée par les pays bénéficiaires éventuels comme étant pertinente, opérationnelle et transmissible à leurs situations particulières (W.D. Bruce, division de l'Application des données,

operational applications and improvements for satellite technology.

As noted in the introduction, the development in Canada of Landsat-oriented analysis, operational applications, and transfer of technology has been cohesive and relatively well-directed. Because of the relatively small remote sensing community in Canada, the direction and monetary support of government agencies (particularly CCRS and the provincial remote sensing centres), the CACRS working group input, and frequent remote sensing symposia, the research on Landsat and accompanying airborne remote sensing data has developed in a coordinated, "building-block" fashion, resulting in significant progress over the past decade.

It is expected that Landsat data will be an increasingly important tool for monitoring the dynamic geography of Canada.

C.C.T., communication personnelle à M.D. Thompson, le 15 février 1982).

Pendant que ces programmes sont menés en utilisant les données Landsat disponibles prélevées au moyen de balayeurs multispectraux et de vidicons à retour de faisceau, on poursuit les travaux de simulation des données qui seront obtenues au moyen du "thematic mapper" à bord de Landsat-D (Ahern *et al.*, 1980) et au moyen du satellite français SPOT, en utilisant le balayeur multispectral aéroporté du C.C.T. Les données recueillies par ces nouveaux satellites et par des satellites ultérieurs auront une meilleure résolution spectrale, spatiale et radiométrique et marqueront le début d'une nouvelle série d'applications et d'améliorations opérationnelles dans le domaine de la technique des satellites.

Comme noté dans l'introduction, la mise au point, au Canada, de méthodes d'analyse de données Landsat, d'applications opérationnelles et de transferts technologiques a été cohésive et relativement bien dirigée. Le nombre relativement restreint de personnes travaillant dans le domaine de la télédétection au Canada, l'orientation et le soutien financier d'organismes gouvernementaux (notamment le C.C.T. et les centres de télédétection provinciaux), la participation du groupe d'étude du Comité consultatif canadien de la télédétection et la tenue de nombreux congrès scientifiques ont permis de poursuivre, de façon coordonnée, les travaux de recherche sur les données Landsat et sur les données de télédétection prélevées au moyen d'appareils aéroportés connexes et ont mené à des progrès importants au cours de la dernière décennie.

On prévoit que les données Landsat deviendront un outil de plus en plus important pour la surveillance de la géographie dynamique du Canada.

REFERENCES

- Ahern, F.J., D.G. Goodenough, S.C. Jain, V.R. Rao and G. Rochon, 1977a. Use of clear lakes as standard reflectors for atmospheric measurements. Proc. 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI, 731-755.
- Ahern, F.J., D.G. Goodenough, S.C. Jain, V.R. Rao and G. Rochon, 1977b. Landsat atmospheric corrections at CCRS. Proc. 4th Canadian Symposium on Remote Sensing, Québec City, P.Q. 583-594.
- Ahern, F.J., R.J. Brown, D.G. Goodenough, and K.P.B. Thomson, 1980. A simulation of the matic mapper performance in an agricultural setting. Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, N.S. 21-23 May 1980. 585-596.
- Alföldi, T.T. and J.C. Munday, Jr., 1977. Progress toward a Landsat water quality monitoring system. Proc. 4th Canadian Symposium on Remote Sensing, Québec City, P.Q. 325-340.
- Alföldi, T.T. and J.C. Munday, Jr., 1978. Water quality analysis by digital chromaticity mapping of Landsat data. Canadian Journal of Remote Sensing 4(2):108-126.
- Amos, C.L., 1976. Suspended sediment analysis of seawater using Landsat imagery, Minas Basin, Nova Scotia; in Report of Activities, Part C. Geological Survey of Canada, Paper 76-1C, 55-60.
- Anderson, J.R., E.E. Hardy, J.T. Roach and R.E. Witmer, 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Geological Survey Professional Paper 964, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 28 pp.
- Aronoff, S., 1978. The application of remote sensing to environmental monitoring of the Athabasca oil sands region. M.Sc. Thesis, University of Calgary, 259 pp.
- Audet, H., 1981. Les aspects administratifs reliés à l'utilisation des données de télédétection dans la gestion des ressources au Québec. Télédétection et Gestion des Ressources, Vol. III, F. Bonn (ed.), 10 pp. (sous presse).
- Audirac, H., 1978. Considérations sur l'analyse multitemporale des données numériques Landsat pour la cartographie des changements du milieu forestier. Thèse M.Sc., Université Laval, 92 pp.
- Banner, A. and T. Lynham, 1981. Multitemporal analysis of Landsat data for forest cutover mapping: An evaluation of two procedures. Proc. 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Man. 8 pp. (in press).
- Beaubien, J., 1982. La végétation des bassins des rivières Baleine à la Baie d'Hudson, telle que perçue par satellite. Télédétection et Gestion des Ressources, Vol. III, F. Bonn (ed.), 10 pp. (sous presse).
- Beaubien, J., 1977. La satellite Landsat et la cartographie des peuplements forestiers au Québec. 1er congrès de l'A.Q.T., Montréal.
- Boasson, E., 1981. Landsat and airborne radar for land cover/use mapping in southern Ontario. M.Sc. Thesis, Dept. of Geography, McMaster University, Hamilton, Canada. 151 pp.
- Brown, R.J., K.P.B. Thomson, F.J. Ahern, K. Staenz, J. Cihlar, S.G. Klumph and C.M. Pearce, 1981. Landsat MSS applied to rangeland management in Canada. Proc. 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. May 1981 (in press).
- Butlin, T.J., F.E. Guertin and S.S. Vishnubhatla, 1978. The CCRS digital image correction system. Proc. 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, B.C., August 1978. 271-276.
- Canadian Advisory Committee on Remote Sensing, 1980. 1979 Report. Canada Energy, Mines and Resources, Ottawa. 116 pp.
- Canadian Advisory Committee on Remote Sensing, 1979. 1978 Report. Canada Energy, Mines and Resources, Ottawa. 117 pp.
- Canada Industry, Trade and Commerce, 1980. Canadian space industry: marketing opportunities in the 80's. Government of Canada, Ottawa. 115 pp.
- Chipman, R., 1975. International approaches to remote sensing. Proc. 3rd Canadian Symposium on Remote Sensing, Edmonton, Alberta, 22-24 September 1975. 27-31.

- Clough, D.J., 1972. Preliminary benefit/cost analysis of Canadian satellite/aircraft remote sensing applications. Proc. 1st Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa, Ontario, February 1972. 3-28.
- Deutsch, M., 1976. Optical processing of ERTS data for determining extent of the 1973 Mississippi River flood; in Williams, R.S., Jr. and W.D. Carter (eds.), ERTS-1: A new window on our planet. United States Geological Survey, Professional Paper 929, 209-213.
- Dey, W., 1980. Orbital sensing of Mackenzie Bay ice dynamics. Arctic 33(2):280-291.
- Dey, W., 1981. Monitoring winter sea ice dynamics in the Canadian Arctic with NOAA-TIR images. Journal of Geophysical Research 86(C4):3223-3235.
- Dey, W., H. Moore and A.F. Gregory, 1979a. Monitoring and mapping sea-ice breakup and freezeup of Arctic Canada from satellite imagery. Arctic and Alpine Research 11(2):229-242.
- Dey, W., H. Moore and A.F. Gregory, 1979b. Application of satellite images for monitoring snow-line in the Yukon and Northwest Territories. Polar Record 19(122):473-483. Dubois, F.P. and W.D. Bruce, 1978. Remote sensing technology transfer: The Canadian-Peruvian approach. Proc. 12th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Manila, Philippines, 20-26 April 1978. ERIM, Ann Arbor, MI. 203-211.
- Economy, R., D.G. Goodenough, R. Ryerson and R. Towles, 1974. Classification accuracy of the Image 100. Proc. 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing, Guelph, Ontario, April 1974. 277-288.
- Falconer, A., 1974. ERTS - The complete geographer. Proc. 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing, Guelph, Ontario, April 1974. 649-652.
- Ferguson, H.L. and S. Lapczak, 1977. Satellite imagery analysis of snow cover in the Saint John and Souris River basins. Proc. 4th Canadian Symposium on Remote Sensing, Québec City, P.Q. 126-142.
- Fleming, E.A., 1980. Change detection by Landsat as a guide to planning aerial photography for revision mapping. Proc. 14th ISP Congress, Hamburg, Commission IV, Working Group 4, 11 pp.
- Gierman, D.M., R.A. Ryerson, G. Moran and W. Switzer, 1975. Remote sensing and the Canada Geographic Information System (CGIS) for impact studies. Proc. 3rd Canadian Symposium on Remote Sensing, Edmonton, Alberta. 235-241.
- Gierman, D.M. and R.A. Ryerson, 1975. Land use information for the Great Lakes basin. Report to Technical Committee B, Great Lakes Pollution from Land Use Activities Reference Group, IJC, Windsor, Ontario. 19 pp. plus 468 pp tables.
- Gignac, P., 1982. Cartographie du réseau routier forestier à partir de données Landsat. Télé-détection et Gestion des Ressources, Vol. III, F. Bonn (ed.). (sous presse).
- Goodenough, D.G., 1976. Image 100 classification methods for ERTS scanner data. Canadian Journal of Remote Sensing 2(1):18-29.
- Goodenough, D.G., 1979. The Image Analysis System (C.I.A.S.) at the Canada Centre for Remote Sensing. Canadian Journal of Remote Sensing 5(1):3-17.
- Goodenough, D.G., A. Des Rochers, K. O'Neill, L.A. Gordon, J. Yan, T. Fisher and C.L. MacDonald, 1979. Standard format for the transfer of geocoded polygon data. C.C.R.S. Research report 79-3, Ottawa.
- Guertin, F., T.J. Butlin and R.G. Jones, 1979. La correction géométrique des images Landsat au Centre Canadien de Télé-détection. Canadian Journal of Remote Sensing 5(2):118-127.
- Howarth, P.J. and G.M. Wickware, 1981. Procedures for change detection using Landsat digital data. International Journal of Remote Sensing 2(3):277-291.
- Howarth, P.J. and G.M. Wickware, In Prep. Landsat analysis of hydrologic and vegetation change in the Peace-Athabasca Delta: I. Preprocessing and enhancement.
- Howarth, P.J. and G.M. Wickware, In Prep. Landsat analysis of hydrologic and vegetation change in the Peace-Athabasca Delta: III. Change detection and signature file extension.
- INTERA Environmental Consultants Ltd., 1980. The airborne SAR project: A component of the Canadian SURSAT program. INTERA Report ASP-80-1, 138 pp.

- Kourtz, P.H. and A.K. Scott, 1978. An improved image enhancement technique and its application to forest fire management. Proc. 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, B.C., August 1978. 72-78.
- Laframboise, P., 1979. Remplissage du réservoir de LG2, surveillance et étude à l'aide des images Landsat. Société de développement de la Baie James pour la Société d'énergie de la Baie James, Montréal, P.Q. 68 pp.
- Laframboise, P. et A. Bachand, 1980. Les images Landsat dans la surveillance et l'étude du réservoir de LG2 durant la période de remplissage. Compte rendu du 6ième symposium canadien sur la télédétection, Halifax, Nouvelle Ecosse, 453-457.
- Lodwick, G.D., 1979. Measuring ecological changes in multitemporal Landsat data using principal components. Proc. 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. 1131-1141.
- McClellan, J.B., 1965. The land use sector of the Canada Land Inventory. Geographical Bulletin 7(2):73-78.
- McClellan, J.B., L. Jersak and C. Hutton, 1968. A guide to the classification of land use for the Canada Land Inventory. Policy and Planning Branch, Canada Energy Mines and Resources, Ottawa. 18 pp.
- McQuillan, A.K., 1974. Benefits of remote sensing in Canadian northern resource development. Canada Energy, Mines and Resources. Canada Centre for Remote Sensing, Draft Research Report 74-AX. 167 pp.
- McWhirter, N. (ed.), 1982. Guinness Book of Records, Edition 28. Guinness Superlatives Ltd., London, 350 pp.
- Mercer, J.B., R.T. Lowry and S.K. Leung, 1980. Experimental use of real-time SAR imagery in support of oil exploration in the Beaufort Sea. Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, Nova Scotia. 143-152.
- Morley, L.W., 1975. The international and industrial involvement of Canada in remote sensing. Proc. 3rd Canadian Symposium on Remote Sensing, Edmonton, Alberta, 22-24 September 1975. 1-5.
- Morrison, R.B. and P.G. White, 1976. Monitoring flood inundation; in Williams, R.S. Jr. and W.D. Carter (eds.), ERTS 1: A new window on our planet. United States Geological Survey, Professional Paper 929, 196-208.
- Mullane, T.F., 1980. Operational use of satellite imagery in the Canadian ice program. Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, Nova Scotia. 17-32.
- Munday, J.C., Jr., 1974a. Lake Ontario water mass determination from ERTS 1. Proc. 9th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. 1355-1368.
- Munday, J.C., Jr., 1974b. Water quality of lakes of southern Ontario from ERTS 1. Proc. 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing, Guelph, Ontario. 77-85.
- Munday, J.C., Jr., T.T. Alföldi and C.L. Amos, 1979. Bay of Fundy verification of a system for multirate Landsat measurement of suspended sediment; in Deutsch, M., D.R. Wiesnet and R. Rango (eds.), Satellite hydrology. Proc. 5th Annual William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing. 622-640.
- O'Neil, N.T. and J.R. Miller, 1977. Comparison of two methods to determine the path radiance from above the atmosphere. C.R. 4e Symposium Canadien de Télédétection, Québec, 573-582.
- Post, A., M.F. Meier and L.R. Mayo, 1976. Measuring the motion of the Lowell and Tweedsmuir surging glaciers of British Columbia, Canada; in Williams, R.S., Jr. and W.D. Carter (eds.), ERTS 1: A new window on our planet. United States Geological Survey, Professional Paper 929, 180-184.
- Prout, N.A., 1980. Land use/cover mapping for Halifax County: Remote sensing alternatives. Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, N.S. 307-320.
- Rochon, G., 1975. Etude méthodologique de l'évolution de de la classification des lacs par satellite. Centreau, Univ. Laval, Rapport C.R.E. 75-06.
- Rochon, G. et M. Rocksandic, 1982. Intégration des données topographiques et des données Landsat pour la cartographie géologique. Télédétection et Gestion des Ressources, Vol. III, F. Bonn (ed.), 12 pp. (sous presse).

- Rochon, G., H. Audirac, A. Larrivee, J. Beaubien, et P. Gignac, 1979. Les corrections radiométriques des effets topographiques sur des images Landsat de territoires forestiers. Télétection et Gestion des Ressources, Vol. I et II, F. Bonn (ed.), 151-164.
- Rochon, G., F. Bonn, and W.D. Bruce, 1980. An experimental technology transfer project in remote sensing between Canada and West Africa (Une expérience de transfert de technologie en télédétection entre le Canada et l'Afrique de l'Ouest). Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, N.S., May 1980. 111-112.
- Rubec, C.D. and J. Thie, 1978. Land use monitoring with Landsat digital data in southwestern Manitoba. Proc. 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, B.C. 136-149.
- Ryerson, R.A. and D.M. Gierman, 1974. Land use mapping in the Great Lakes Basin. Progress Report for Technical Committee B, Great Lakes Pollution from Land Use Activities Reference Group, IJC, Windsor, July 1974.
- Ryerson, R.A., J.L. Tambah, R.J. Brown, B. McLaughlin and L.A. Murphy, 1981. A timely and accurate potato acreage estimate from Landsat: Results of a demonstration. Proc. 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, MI. May 1981. 587-597.
- Schreier, H., L.C. Goodfellow and L.W. Lavkulich, 1982. The use of digital multirate Landsat imagery in terrain classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 48(1):111-119.
- Schubert, J.S., 1978. Computer processing of Landsat Data for Canada Land Inventory Land Use Mapping. CLI Report 13, Lands Directorate, Environment Canada, Ottawa. 72 pp.
- Shaw, E., 1975. Near real-time transmission of sea-ice satellite imagery. Proc. 3rd Canadian Symposium on Remote Sensing, Edmonton, Alberta. 83-91.
- Stephens, P. and J. Cihlar, 1981. Remote sensing-based methodology to map and monitor cropland soil erosion. Proc. 7th Canadian Symposium of Remote Sensing, Winnipeg, Man. (in press).
- Stocks, B.J., P.H. Kourtz, and J.B. Todd, 1981. Satellite mapping of spruce budworm killed balsam fir in Ontario.
- Stow, D.A., L.R. Tinney and J.E. Estes, 1980. Deriving land use/land cover change statistics from Landsat: A study of prime agricultural land. Proc. 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, San Jose, Costa Rica. 1227-1237.
- Strome, W.M., 1975. Remote sensing: The future. Proc. 3rd Canadian Remote Sensing Symposium, Edmonton, Alta. 22-24 September 1975. 7-25.
- Taylor, M., 1974. Principal components colour display of ERTS imagery. Proc. 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing, Guelph, Ontario. 295-314.
- Thompson, M.D., 1981. Demonstration of the application of enhanced Landsat image products to rangeland management of PFRA pastures in southern Saskatchewan. INTERA Environmental Consultants Report No. C81-014. Prep. for CCRS, Ottawa. Calgary, Alberta. 105 pp.
- Thomson, D.W., 1975. Skyview Canada. Canada Energy, Mines and Resources. Ottawa. 270 pp.
- Tomlins, G.F. and K.P.B. Thomson, 1980. Applications of remote sensing to construction impact assessment of the Roberts Bank Port, British Columbia. Proc. 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Halifax, N.S. 289-299.
- Townshend, J.R.G., 1977. A framework for examining the role of remote sensing in monitoring the earth's environment, in van Genderen, J.L. and W.G. Collins (eds.), Monitoring environmental change by remote sensing. Birmingham, The Remote Sensing Society. 1-5.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment 8:127-150.
- Weismiller, R.A., S.J. Kristof, D.K. Scholz, P.E. Anuta and S.A. Momin, 1977. Change detection in coastal zone environments. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 43(2):1533-1539.

Wickware, G.M., 1978. Wetland mapping and environmental monitoring using digital Landsat data. Proc. 5th Canadian Symposium on Remote Sensing, Victoria, B.C. 150-157.

Wickware, G.M. and P.J. Howarth, 1981. Change detection in the Peace-Athabasca Delta using digital Landsat data. Remote Sensing of Environment 11(1):9-25.

Wickware, G.M. and P.J. Howarth, In Prep. Landsat analysis of hydrologic and vegetation change in Peace-Athabasca Delta: II. Classification.

Yazdani, R., R. Ryerson and E. Derenyi, 1981. Vegetation change detection in an agricultural area--a simple approach with a geo data base. Proc. 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Man. (in press).

Yazdani, R., 1982. Potentials and limitations of satellite data in crop identification. Ph.D. Dissertation, Faculty of Engineering, Univ. New Brunswick, Fredericton, N.B. 146 pp.

| | |
|---------------|--------------|
| RESORS | |
| DATE RECEIVED | JUL 0 5 1982 |
| DATE CHECKED | JUL 0 5 1982 |
| DATE INDEXED | |



Energy, Mines and
Resources Canada

Énergie, Mines et
Ressources Canada