



Environment
Canada

Environnement
Canada

Hydrogeological Applications of Earth Resources Technology Satellite LANDSAT I Imagery

Utilisation des techniques du satellite LANDSAT I dans le domaine de l'hydrogéologie

J. E. Charron



SCIENTIFIC SERIES NO. 62 ÉTUDE N° 62, SÉRIE SCIENTIFIQUE

INLAND WATERS DIRECTORATE,
WATER RESOURCES BRANCH,
OTTAWA, CANADA, 1976.

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES,
DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU,
OTTAWA, CANADA, 1976.



Environment
Canada

Environnement
Canada

Hydrogeological Applications of Earth Resources Technology Satellite LANDSAT I Imagery

Utilisation des techniques du satellite LANDSAT I dans le domaine de l'hydrogéologie

J. E. Charron

**SCIENTIFIC SERIES NO. 62
ÉTUDE N° 62, SÉRIE SCIENTIFIQUE**

*INLAND WATERS DIRECTORATE,
WATER RESOURCES BRANCH,
OTTAWA, CANADA, 1976.*

*DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES,
DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU,
OTTAWA, CANADA, 1976.*

©Minister of Supply and Services Canada 1976

Cat. No.: En 36-502-62

CONTRACT NO. 02KX.KL210-6-4547
THORN PRESS LIMITED

Contents

	Page
ABSTRACT	v
RÉSUMÉ	v
INTRODUCTION	1
EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE LANDSAT I	2
Imagery	2
Alphanumeric and tick-mark annotation of the imagery	3
Data collection and distribution	4
LANDSAT I SURVEY	4
Winnipeg Area – Red River Valley, Province of Manitoba	4
Imagery vs hydrogeological mapping	4
Ottawa–Montreal Area, Provinces of Ontario and Quebec	6
Imagery vs hydrogeological mapping	7
CONCLUSIONS	8
REFERENCES	8

Illustrations

Figure 1. Location map	13
Figure 2. LANDSAT I imagery, Winnipeg area, bands 5, 6, and 7	14
Figure 3. Hydrogeological map, Winnipeg area	15
Figure 4. LANDSAT I imagery, Winnipeg area, bands 4, 5, and 7	16
Figure 5. LANDSAT I imagery, Winnipeg area, bands 4, 5, and 7	17
Figure 6. LANDSAT I imagery, Ottawa–Montreal area, bands 4, 5, and 7	18
Figure 7. Hydrogeological map, Ottawa–Montreal area	19
Figure 8. LANDSAT I imagery, Ottawa–Montreal area, bands 4, 5, and 6	20
Figure 9. LANDSAT I imagery, Ottawa–Montreal area, bands 5, 6, and 7	21

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
LE SATELLITE LANDSAT I	2
Images	2
Code alphanumérique et repères figurant sur les images	3
Collecte et diffusion des données	4
ÉTUDE FAITE À L'AIDE DU LANDSAT I	4
Région de Winnipeg—Vallée de la rivière Rouge, Manitoba	4
Comparaison des images avec la carte hydro- géologique	4
Région d'Ottawa–Montréal, provinces de l'Ontario et du Québec	6
Comparaison des images avec la carte hydro- géologique	7
CONCLUSIONS	8
RÉFÉRENCES	8

Illustrations

Figure 1. Carte d'orientation	13
Figure 2. Image LANDSAT I, région de Winnipeg,, canaux 5, 6 et 7	14
Figure 3. Carte hydrogéologique, région de Winnipeg	15
Figure 4. Image LANDSAT I, région de Winnipeg, canaux 4, 5 et 7	16
Figure 5. Image LANDSAT I, région de Winnipeg, canaux 4, 5 et 7	17
Figure 6. Image LANDSAT I, région d'Ottawa- Montréal, canaux 4, 5 et 7	18
Figure 7. Carte hydrogéologique, région d'Ottawa- Montréal	19
Figure 8. Image LANDSAT I, région d'Ottawa- Montréal, canaux 4, 5 et 6	20
Figure 9. Image LANDSAT I, région d'Ottawa- Montréal, canaux 5, 6 et 7	21

Abstract

A correlation of LANDSAT I imagery with various hydrogeological and surficial geology features in the Winnipeg area, Manitoba, and the Ottawa (Ontario)–Montreal (Quebec) area of Canada is presented. The study includes the identification of groundwater recharge and discharge areas and artesian zones; areas of freshwater discharge into surface-water bodies; and the identification and mapping of various types of surficial deposits.

Résumé

Le présent document établit la corrélation entre les images fournies par le LANDSAT I et les divers traits relatifs à l'hydrogéologie et aux formations superficielles des régions de Winnipeg (Manitoba) et d'Ottawa (Ontario)–Montréal (Québec). Plus précisément, l'étude porte sur: le repérage des zones artésiennes, des régions d'alimentation des eaux souterraines et des points d'émergence de ces dernières; la localisation des endroits où l'eau douce se déverse dans les nappes d'eau superficielles; et, l'identification et la représentation cartographique des divers types de dépôts meubles.

Hydrogeological Applications of Earth Resources Technology Satellite LANDSAT I Imagery

Utilisation des techniques du satellite LANDSAT I dans le domaine de l'hydrogéologie

INTRODUCTION

Most applications of remote sensing data deal with surface phenomena, and apart from clouds and penetration into water, it is always the surface of the earth that is being scanned by the earth resources technology satellite LANDSAT I. Hydrogeological conditions can be inferred, however, from surface indicators such as geological features and structures, type and distribution of vegetation, streamflow characteristics, soils and soil-moisture anomalies, and others.

So far in hydrogeology LANDSAT I has proved useful in delineating sedimentary rock aquifers, locating springs and groundwater discharge into streams or oceans, delineating unconsolidated glacial and alluvial aquifers or saturated sediments, and depicting detailed surface structures and lineaments of crystalline rocks in igneous and metamorphic terrains, where groundwater is commonly stored in joints or fractures.

A specific example of a Canadian application of remote sensing data to hydrogeology is given by Carr and Gross (1972). Mollard and Carr (1973) have reviewed the application of LANDSAT I data to remote sensing of water resources in Canada.

For this report two regions have been selected: the Winnipeg area and the Ottawa-Montreal area (Fig. 1). The Winnipeg area is located in the Red River Valley in Manitoba at the eastern edge of the Western Plains. The Ottawa-Montreal area is located between the Ottawa River and the St. Lawrence River; it forms a triangle near the mouth of the Ottawa River.

The hydrogeology of both regions had been thoroughly studied on the ground before the advent of LANDSAT I. The field surveys in both areas involved hydrogeological mapping using aerial photos, geological maps, and good agricultural soil maps to determine the direction of water flow. In 12 field seasons (4 to 5 months per field season) data have been compiled for over 14,000 water wells in the Winnipeg area (Charron, 1969) and for over 10,000 water

INTRODUCTION

La plupart des applications de données recueillies par télédétection ont rapport à des phénomènes qui ont lieu à la surface de la terre, et, si l'on fait exception des nuages et des profondeurs des masses d'eau, c'est toujours la terre que montrent les images du satellite LANDSAT I. Les conditions hydrogéologiques peuvent être déduites des aspects de la surface terrestre, tels que les traits et les formations géologiques, la flore et sa distribution, l'écoulement des cours d'eau, les sols et les anomalies d'humidité du sol, et d'autres facteurs.

En hydrogéologie, le LANDSAT I s'est, jusqu'à présent, révélé fort utile dans la localisation des couches de roches sédimentaires aquifères, des sources et des déversements d'eaux souterraines dans les cours d'eau ou les océans, dans la détermination des zones aquifères non consolidées d'origine glaciaire et alluviale ou des sédiments saturés, ainsi que dans la description détaillée des formations superficielles et de la présence de caractéristiques de roches cristallines dans les terrains formés de roches ignées et métamorphiques, dans les joints et les cassures desquels les eaux souterraines s'accumulent souvent.

Un exemple précis d'application de données obtenues par télédétection est fourni pour le domaine de l'hydrogéologie au Canada par Carr et Gross (1972). Mollard et Carr (1973) ont étudié l'application des données du satellite LANDSAT I par rapport à la télédétection des ressources en eau du Canada.

La présente étude a porté sur deux régions: la région de Winnipeg et la région d'Ottawa-Montréal (fig. 1). Celle de Winnipeg se trouve au Manitoba, dans la vallée de la rivière Rouge, à l'extrémité orientale des plaines de l'Ouest. Celle d'Ottawa-Montréal forme un triangle près de l'embouchure de la rivière des Outaouais, entre cette dernière et le fleuve Saint-Laurent.

L'hydrogéologie de ces deux régions était déjà bien connue avant la venue du satellite LANDSAT I. Les travaux sur le terrain avaient comporté l'établissement de cartes hydrogéologiques à l'aide de photographies aériennes, de

wells in the Ottawa-Montreal area (Charron, in preparation).

The original LANDSAT I imagery, for both areas, can also be regarded as an elegant and very striking hydrogeological map. Unfortunately the imagery's reproduction in this paper cannot capture the striking contrasts of the original.

Before the main features of each image are described and evaluated, the technique of LANDSAT I imagery is briefly discussed. Then the hydrogeological mapping is compared with the soil or vegetation interpretation of the imagery. Finally, groundwater details are illustrated in each region.

EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE LANDSAT I

Imagery

LANDSAT I, launched on July 23, 1972, is capable of producing coverage of more than 75 % of the earth on a repetitive cycle every 18 days. Each pass covers an area of 115 x 115 miles (185 x 185 km) with an 11-mile (18-km) overlap between succeeding passes. After 18 days or about 252 passes, the satellite returns to the same position.

The imagery is at various wavelengths of both visible and infrared light. The imaging sensor, a multispectral scanner (MSS), views the area in four wavelength bands: the blue-green (band 4, 500 to 600 nm); the red (band 5, 600 to 700 nm); and the near-infrared in two bands (bands 6 and 7, 700 to 800 nm and 800 to 1100 nm, respectively).

These wavelength bands were chosen with specific goals in mind. The blue-green band (band 4) appears in green on the image. Water is transparent in this band so that suspended sediments are readily visible and the depth and turbidity of a body of water can commonly be discerned.

Imagery in the red band shows good contrast between natural surface cover, such as vegetation, which absorbs most of this energy, and man-made structures, which strongly reflect it. Bare soil is often highly reflective;

cartes géologiques et de cartes des sols arables afin de déterminer la direction de l'écoulement des eaux. Douze campagnes (chacune d'une durée de 4 à 5 mois) avaient permis de recueillir des données sur plus de 14,000 puits de la région de Winnipeg (Charron, 1969) et sur plus de 10,000 puits de la région d'Ottawa-Montréal (Charron, en cours de rédaction).

Du point de vue hydrogéologique, les images LANDSAT I originales des deux régions peuvent être considérées comme des cartes hydrogéologiques très belles et très contrastées. Malheureusement, les reproductions du présent document n'en sont qu'un pâle reflet.

Avant de décrire et d'étudier les principales caractéristiques de chaque image, on précisera d'abord en quelques mots en quoi consiste la technique des images LANDSAT I. Ensuite, on comparera les cartes hydrogéologiques aux interprétations des images des sols ou de la végétation. Enfin, on traitera des aspects particuliers des eaux souterraines de chacune des deux régions.

LE SATELLITE LANDSAT I

Images

Lancé le 23 juillet 1972, le satellite LANDSAT I est capable d'explorer plus de 75 % de la surface de la terre en une période de 18 jours. Au cours de chacun de ses passages, le satellite balaye une région de 115 x 115 milles (185 x 185 km) avec un recouvrement de 11 milles de largeur (18 km) des régions adjacentes. Après 18 jours ou environ 252 passages, le satellite reprend sa position initiale.

Les images sont prises à différentes longueurs d'ondes dans le visible et l'infrarouge. Le détecteur à balayage multispectral explore la région dans quatre canaux: le bleu-vert (canal 4, 500 à 600 nm); le rouge (canal 5, 600 à 700 nm); et les canaux dans le proche infrarouge (canaux 6 et 7, 700 à 800 nm et 800 à 1100 nm, respectivement).

On a choisi ces bandes spectrales pour des raisons bien définies. La bande bleu-vert (canal 4) apparaît en vert sur l'image. Dans cette bande, l'eau est transparente de sorte que les matières en suspension apparaissent clairement et que la profondeur et la turbidité du cours d'eau sont aisément discernables.

Les images apparaissant dans la bande rouge établissent un bon contraste entre la couverture naturelle de la surface terrestre, comme par exemple la végétation, qui absorbe la plus grande partie du rayonnement de cette bande, et les ouvrages de l'homme, qui la reflètent fortement. Les sols dénudés, tels que les déserts que l'on voit très bien dans

e.g., deserts are best seen in this band. Water almost totally absorbs the radiant energy in the infrared bands and appears black in the photograph; whereas vegetation, which reflects infrared when healthy, appears bright.

The near-infrared bands delineate water-land boundaries with a high resolution, the lower band (band 6) giving maximum land-water contrast. The resolution of LANDSAT I imagery is approximately 300 ft (90 m).

Black and white images are produced from each band. Images can also be produced in false-colour composites (i.e., the colours in the imagery do not correspond to the wavelengths sensed by the scanner) at a scale of 1:1,000,000. Only the false-colour composites are used in this study.

Images which have an overall red colour (analogous to false-colour infrared aerial photography) of vegetated surfaces are made by using bands 4, 5, and 6; images with predominantly blue colour, which is useful for water discrimination, are made by using bands 5, 6, and 7. The first is called the C1 colour composite; the second is called C2.

Alphanumeric and Tick-Mark Annotation of the Imagery

Only one alphanumeric annotation is explained here. Information on others can be found in the NASA ERTS* Investigators' Bulletin (1972).

Each image or frame has a unique identifier in the top right-hand corner of the image. This identifier contains encoded information consisting primarily of time of exposure relative to launch. The image identifier E-1440-15154, for example, is interpreted as follows:

E—ERTS
1—ERTS Mission 1
440—Day number relative to launch at time of observation
15—Hour at time of observation†
15—Minute at time of observation
4—Tens of seconds at time of observation

The bands used are indicated in bold black figures.

Tick-mark annotations are printed on the outer four edges. Latitude-longitude tick marks and Universal Transverse Mercator (UTM) tick marks extend outward

cette bande, la réfléchissent fortement. Dans l'infrarouge, l'eau absorbe presque entièrement l'énergie de rayonnement et apparaît en noir sur l'image, tandis que la végétation saine la réfléchit et donne alors une teinte rouge brillant.

Les bandes du proche infrarouge permettent de délimiter, avec une forte résolution, l'eau de la terre. La bande inférieure (canal 6) donne le meilleur contraste. La résolution au sol des images LANDSAT I est d'environ 300 pi (90 m).

Des images en noir et blanc sont obtenues à partir de chaque canal. À l'échelle du 1:1,000,000, on peut également obtenir des superpositions d'images en fausse-couleur (c'est-à-dire que le rendu ne correspond pas à la réalité). Dans le cadre de la présente étude, on n'a utilisé que ces superpositions.

On utilise les canaux 4, 5 et 6 pour obtenir des images sur lesquelles la couverture végétale apparaît principalement en rouge (comme sur les photographies infrarouges aériennes); les canaux 5, 6 et 7 donnent des images dont la couleur prédominante est le bleu et que l'on utilise pour distinguer les masses d'eau. La première d'entre elles est appelée superposition C1; la deuxième superposition C2.

Code alphanumérique et repères figurant sur les images

On n'expliquera ici que le code alphanumérique. Pour les autres, il faut consulter l'*ERTS* Investigators' Bulletin (1972)* publié par la NASA.

Chaque image est dotée dans le coin supérieur droit d'un code spécifique identifiant principalement le moment où elle a été prise par rapport à l'heure du lancement du satellite. À titre d'exemple, le code E-1440-15154 se déchiffre de la façon suivante:

E — ERTS
1 — Mission n° 1 de l'ERTS
440 — Jours écoulés depuis le lancement
15 — Heure à laquelle l'image a été prise†
15 — Minutes écoulées dans l'heure
4 — Dixièmes de seconde

Les canaux utilisés sont identifiés à l'aide de caractères noirs gras.

Les repères sont imprimés sur les bordures extérieures de l'image. Les repères de la latitude et de la longitude, ainsi que ceux de la projection Mercator transverse (UTM),

*The LANDSAT I Satellite was originally known as ERTS (Earth Resources Technology Satellite).

†Greenwich Mean Time.

*Le satellite LANDSAT I était connu à l'origine sous le nom de ERTS (Earth Resources Technology Satellite).

†Temps moyen de Greenwich.

from the inside edges. The latter are slanted in the direction of the coordinate they designate: integral 100,000-m ticks extend 2.3 mm outward; 50,000-m ticks extend 1.0 mm outward. Labeling is along the right (northing) and bottom (easting) margins. When requested, small internal tick-mark crosses are painted upon the image. They correspond to the UTM coordinates and are located at the intersection of all 50,000-m northing and easting coordinates.

Data Collection and Distribution

Data pertinent to Canadian terrain are recorded on tape at the Prince Albert Satellite Station in Saskatchewan. These tapes are transformed into images at the Canada Centre for Remote Sensing in Ottawa, Ontario. Copies are prepared by the Reproduction Centre of the National Air Photo Library, Department of Energy, Mines and Resources, which markets the images. Requirements are easily obtained by filling out a standing order form made available on request.

LANDSAT I SURVEY

Winnipeg Area—Red River Valley, Province of Manitoba

The average total annual precipitation in the Winnipeg area is 20 in. (510 mm) of which 5 in. (130 mm) falls as snow. The area covered by the LANDSAT I image (Fig. 2), 115 x 115 miles (185 x 185 km), represents mainly a flat clay plain with an elevation of 800 ft (244 m) above mean sea level. It consists of both Precambrian granites of the Canadian Shield and Western Plains sedimentary rocks. The major sedimentary bedrock aquifer is limestone of Ordovician age.

Several major water and land features, indicated by a series of numbers on the imagery (Fig. 2), are readily discerned: Lake Winnipeg (no. 1), Lake Manitoba (no. 2), the Red River (no. 3), and the Winnipeg River (no. 4).

The largest land feature is the vast clay plain in the centre of the image (Fig. 2, no. 5). Some glacial features appear in the northwest corner trending in a northwest-southeast direction (Fig. 2, no. 6). The City of Winnipeg is clearly seen (Fig. 2, no. 7) as well as gravel pits at Birds Hill (Fig. 2, no. 8). Other features clearly visible are the section grid for the subdivision of land and the sedimentation in Lake Winnipeg and the Red River Delta.

Imagery vs Hydrogeological Mapping

The hydrogeological map of Winnipeg area (Fig. 3) is an elementary regional soil map that is interpreted hydro-

partant de la bordure intérieure vers l'extérieur. Les derniers sont courbés vers les coordonnées qu'ils représentent: les repères de distances de 100,000 m sont tracés vers l'extérieur et mesurent 2.3 mm de longueur; ceux de 50,000 m mesurent 1.0 mm et sont aussi dirigés vers l'extérieur. Les ordonnées sont inscrites dans les marges du côté droit (pour le nord) et du bas de l'image (pour l'est). Au besoin, on dessine de petites croix sur les images proprement dites. Elles correspondent aux coordonnées UTM et se trouvent à l'intersection de toutes les ordonnées-abscisses distantes de 50,000 m.

Collecte et diffusion des données

Les données pertinentes au Canada sont enregistrées sur ruban à la station de satellite Prince Albert (Saskatchewan). Ces bandes sont transformées en images au Centre canadien de télédétection à Ottawa. Le centre de reproduction de la Bibliothèque nationale de photographies aériennes en tire des copies et les met sur le marché. Des commandes peuvent être facilement placées en remplissant une formule de règlement général que l'on peut obtenir sur demande.

ÉTUDE FAITE À L'AIDE DU LANDSAT I

Région de Winnipeg—Vallée de la rivière Rouge, Manitoba

La moyenne des précipitations annuelles totales, dans la région de Winnipeg, est de 20 po (510 mm), dont 5 po (130 mm) de neige. L'image LANDSAT I (fig. 2), couvrant un carré de 115 x 115 milles (185 x 185 km), représente principalement une plaine argileuse plate à 800 pi (244 m) au-dessus du niveau moyen de la mer. Elle est formée de granite précambrien du Bouclier canadien et de roches sédimentaires des plaines de l'Ouest. Du calcaire ordovicien constitue la principale roche de fond sédimentaire aquifère de la région.

On peut facilement distinguer sur l'image (fig. 2), grâce à des chiffres, un certain nombre de traits d'accidents géographiques: le lac Winnipeg (n° 1), le lac Manitoba (n° 2), la rivière Rouge (n° 3) et la rivière Winnipeg (n° 4).

Au centre de l'image (fig. 2, n° 5), on distingue la vaste plaine argileuse, la formation géologique la plus étendue. Au coin nord-ouest, certains éléments d'origine glaciaire apparaissent et ont une orientation nord-ouest-sud-est (fig. 2, n° 6). On aperçoit clairement la ville de Winnipeg (fig. 2, n° 7) et les carrières de gravier de Birds Hill (fig. 2, n° 8). Parmi les autres éléments visibles, il y a le quadrillage des lots, qui représente la subdivision des terres, et les dépôts de sédiments dans le lac Winnipeg et dans le delta de la rivière Rouge.

Comparaison des images avec la carte hydrogéologique

La carte hydrogéologique de la région de Winnipeg (fig. 3) est une simple carte régionale des sols que l'on

geologically. The same can be said of the map of the Ottawa-Montreal area (Fig. 7). Both maps were made before the advent of the LANDSAT I satellite; and yet in their simplicity they bring out remarkably well the same regional soil or landform features that are seen on the imagery for the areas. A number of hydrogeological features shown on the map (Fig. 3) are clearly seen on the imagery (Fig. 2). For example:

Discharge Area—The clay-till contact shown on Figure 3 is also clearly visible on the imagery (Fig. 2, no. 9) with the clay area to the left of the contact and the till area to the right. This large clayey area should not yield much groundwater because the clay has a very low permeability. Although it is possible to drill through the clay and obtain groundwater in the till or bedrock, the water will be salty (2,000 to 10,000 ppm or mg/l of total solids). The clayey area is considered a discharge area because it was deposited by glacial Lake Agassiz and forms the lowest part of the region. Consequently, the recharge areas have to be outside of the clay area.

Recharge Area—The till (Fig. 2, no. 10) is considered semipermeable and forms a long-term recharge area. Direct infiltration occurs only in sand and gravel in Sandylands Forest Reserve (Fig. 2, no. 11) and Birds Hill (Fig. 2, no. 8).

Other Features—The sedimentary bedrock contact (Fig. 2, no. 12) with the Precambrian granite can be inferred from the imagery. The course of the Rat River (Fig. 2, no. 13), through the swamps and bogs right up to its source, is also clearly seen. Tracing this course on the ground is extremely difficult. Similarly, springs (yielding 2.5 million gallons per day, i.e. 132 litres/second) can be readily located (Fig. 2, no. 14).

On enlargement, up to a scale of 1:250,000, relatively small features such as oxbow lakes (Fig. 2, no. 15), golf courses in the City of Winnipeg, and a beaded stream can be seen. Certain features, however, such as large ice cracks 5 to 6 miles (8 to 10 km) long and about 500 ft (150 m) wide, that are clearly visible on conventional aerial photographs, are not seen on the imagery.

For hydrogeological purposes it would be particularly useful if the imagery would show differentiation between bedrock outcrops (bedrock ridges or highs) and sand and gravel deposits (hills or ridges). Distinctions between the two are unfortunately not obvious on Figure 2.

Groundwater features in Figure 2 are inferred from various surface indicators. The bedrock contact (no. 12) shows up because of a change in forestation from deciduous

interprète du point de vue hydrogéologique. Il en est de même pour la carte hydrogéologique de la région d'Ottawa-Montréal (fig. 7). Ces deux cartes ont été dressées avant le lancement du satellite LANDSAT I et, malgré leur simplicité, elles font remarquablement bien ressortir les mêmes caractéristiques du sol ou du relief que l'on peut voir sur les images. Un certain nombre d'éléments hydrogéologiques indiqués sur la carte (fig. 3) apparaissent clairement sur les images obtenues par satellite (fig. 2). Par exemple:

Zone d'émergence—Comme à la figure 3, on distingue nettement sur l'image (fig. 2, n° 9) les endroits où l'argile et le till sont en contact, la zone argileuse est à gauche tandis que le till se trouve à droite. Cette vaste région ne devrait pas renfermer beaucoup d'eaux souterraines en raison de la très faible perméabilité de son argile. Bien qu'il soit possible d'y forer pour tirer de l'eau du till ou de la roche de fond, cette eau sera salée (teneur totale en matières solides variant entre 2,000 et 10,000 p.p.m. ou mg/l). Constituée de dépôts glaciaires du lac Agassiz et formant la partie la plus basse de cette région, la région argileuse est considérée comme une zone d'émergence. Les zones d'alimentation se trouvent donc en dehors de ladite région.

Zone d'alimentation—Le till (fig. 2, n° 10) est considéré comme une roche semi-perméable et forme une zone d'alimentation à long terme. L'infiltration directe n'a lieu que dans les parties sablonneuses et recouvertes de gravier de la réserve forestière de Sandylands (fig. 2, n° 11) et de Birds Hill (fig. 2, n° 8).

Autres caractéristiques—L'examen de l'image (fig. 2, n° 12) révèle la présence d'une ligne de contact entre la roche de fond sédimentaire et le granite précamalien. On peut suivre très facilement le parcours de la rivière Rat (fig. 2, n° 13), à travers marécages et fondrières, jusqu'à sa source. Il est extrêmement difficile de représenter ce cours d'eau à l'aide de travaux effectués sur le terrain. De même, on peut facilement localiser les sources dont le débit atteint 2.5 millions de gallons par jour, c'est-à-dire 132 litres par seconde (fig. 2, n° 14).

En agrandissant cette image jusqu'à une échelle de 1:250,000, on peut distinguer les traits relativement petits tels que des lacs en fer à cheval (fig. 2, n° 15), les terrains de golf de la ville de Winnipeg et un cours d'eau en chapelet. Cependant, certains éléments, tels que les grandes fissures glaciaires longues de 5 à 6 milles (8 à 10 km) et larges d'environ 500 pi (150 m), que l'on distingue aisément sur les photographies aériennes habituelles, n'y apparaissent pas.

Ces images seraient fort utiles dans le domaine de l'hydrogéologie si elles pouvaient différencier les affleurements de roche de fond (crêtes ou hauteurs) et les dépôts

to coniferous trees. The clay-till contact (no. 9), delineating the discharge area, is indicated by soil and vegetation differences. The western margin of the recharge area (no. 11), known as Sandylands Forest Reserve, is made evident because of an escarpment.

For further evaluation of the Winnipeg area, Figures 4 and 5 are provided. The imagery in Figure 4 is the same as in Figure 2, but it is made up of bands 4, 5, and 7 instead of bands 5, 6, and 7. The two figures are presented for comparison. Some of the features delineated on Figure 2 are clearer on Figure 4 and vice versa. An image of the same area taken in July 1972 is shown in Figure 5, but it consists of bands 4, 5, and 7. A difference in tone in the southern portion of the clay plain (Fig. 2, no. 5) indicates the northern limit of an artesian zone of flowing wells (Fig. 5, no. 16). This artesian zone limit has been transposed on Figure 3 and can be compared with the limit noted by Johnston in 1934 and the existing zone of flowing wells mapped by the author in 1961-1962 and 1963 (Charron, 1969).

Ottawa-Montreal Area, Provinces of Ontario and Quebec

The average total annual precipitation for this part of Canada is 40 in. (1020 mm) of which 10 in. (250 mm) falls as snow. This is double the amount of the precipitation in the Winnipeg area.

The area covered by the imagery (Fig. 6) measures 115 x 115 miles (185 x 185 km); however, the area of interest for this study lies between the Ottawa River (Fig. 6, no. 1) and the St. Lawrence River (Fig. 6, no. 2). The region is characterized by a gently rolling topography with an average elevation of 250 ft (76 m) above mean sea level. The Precambrian gneisses and granites north of the Ottawa River are in contact with primarily sedimentary limestones and shales of Ordovician age south of the river

Major land and water features are indicated by a sequence of numbers on Figure 6. The two major streams are clearly outlined (Fig. 6, nos. 1 and 2); so are the numerous lakes in the Precambrian Shield (Fig. 6, no. 3). The most prominent land feature, the Precambrian Shield north of the Ottawa River with all its bedrock structures and lineaments (Fig. 6, no. 4), is outside the area where the hydrogeological ground survey was conducted. The contact between the Shield and the sedimentary rocks is clearly visible (Fig. 6, no. 5). The old St. Lawrence channel trending in a northeasterly direction is clearly outlined if the Precambrian contact is used as the northern side of the channel and the Adirondack Mountains (Fig. 6, no. 6) as the southern margin of the channel. Also visible are three

de gravier et de sable (collines ou crêtes). De telles distinctions n'apparaissent malheureusement pas sur la figure 2.

Les indices de la surface terrestre de la figure 2 permettent de déduire la présence d'eaux souterraines. Le passage d'une zone couverte d'arbres à feuilles caduques à une zone couverte par des conifères trahit le contact avec la roche de fond (n° 12). La séparation, située entre le till et l'argile (n° 9) et délimitant la zone d'émergence, est indiquée par des différences dans la nature des sols et de la végétation. Un escarpement fait apparaître la partie ouest de la zone d'alimentation (n° 11), soit la réserve forestière de Sandylands.

Les figures 4 et 5 donnent aussi d'autres renseignements sur la région de Winnipeg. Les images des figures 4 et 2 sont semblables, mais on a obtenu la première à l'aide des canaux 4, 5 et 7 et la seconde des canaux 5, 6 et 7. Ces deux figures sont présentées ici afin d'établir une comparaison. Certains traits apparaissant sur la figure 2 sont plus clairs que ceux de la figure 4 et vice-versa. La figure 5 montre une image de la même région, prise en juillet 1972 à l'aide des canaux 4, 5 et 7. Elle fait ressortir une différence dans les nuances de couleur (fig. 2, n° 5, partie sud de la plaine argileuse) et établit la limite septentrionale d'une zone de puits artésiens jaillissants (fig. 5, n° 16). On a transposé cette limite sur la figure 3, et il est possible de la comparer à celle observée par Johnston en 1934 ainsi qu'à la zone des puits jaillissants cartographiée par l'auteur en 1961, 1962 et 1963 (Charron, 1969).

Région d'Ottawa-Montréal, provinces de l'Ontario et du Québec

Dans cette région du Canada, la moyenne des précipitations annuelles totales est de 40 po (1020 mm), dont 10 po (250 mm) de neige. Elle est donc deux fois plus forte que celle de la région de Winnipeg.

La zone représentée par l'image (fig. 6) a 115 x 115 milles (185 x 185 km); cependant, la partie à l'étude s'étend entre la rivière des Outaouais (fig. 6, n° 1) et le fleuve Saint-Laurent (fig. 6, n° 2). Cette région, dont l'altitude moyenne est de 250 pi (76 m) au-dessus du niveau moyen de la mer, est caractérisée par un relief légèrement ondulé. Les gneiss et les granites précambriens, qui se trouvent au nord de la rivière des Outaouais, sont surtout en contact avec les calcaires et les schistes sédimentaires ordoviciens du sud de la rivière.

Une série de chiffres sur la figure 6 indique les principaux accidents topographiques. Les deux principaux cours d'eau sont clairement représentés (fig. 6, n°s 1 et 2),

bogs (Fig. 6, no. 7) and the beaches of the glacial Champlain Sea (Fig. 6, no. 8).

Imagery vs Hydrogeological Mapping

All the land and water features located in the interstream area can easily be compared with the soil features illustrated on the hydrogeological map (Fig. 7). The various physiographic features are outlined in the imagery because of the contrast between the forested and agricultural areas. In the case of the three bogs (Fig. 6, no. 7) the ground moisture as well as the forestation produces the contrast between the bogs and the surrounding areas.

The same area is shown again in Figures 8 and 9. It should be noted, however, that images in Figure 8 and Figures 6 and 9 have been taken on different dates. The imagery in Figure 8 was taken on September 3, 1972, and the image in Figures 6 and 9 on October 6, 1973. The seasonal difference of almost 1½ months gives rise to drastic changes in the tonal appearance of the Precambrian Shield because on September 3 the foliage was still on the trees, whereas on October 6 the foliage was gone. Consequently, the lineaments or linear features in the Precambrian Shield are brought out in Figures 6 and 9 in a way never seen before.

Other features visible on the imagery are: sedimentation in the rivers, the highways (401 and 417), a landslide, and many more; however, only the main features related directly to hydrogeology have been evaluated.

Of the groundwater features, the clayey areas (Fig. 6, no. 9) and the bogs (Fig. 6, no. 7) form discharge areas, while the till plain (Fig. 6, no. 10), St. Lazare sands (Fig. 6, no. 11) and sandy beaches (Fig. 6, no. 8) form the recharge areas.

Evidence from field studies has always strongly supported the hypothesis that very little groundwater flows from the till plain (Fig. 6, no. 10) towards the St. Lawrence River. The imagery (Fig. 8) seems to support this point of view. It shows the till plain as a series of long narrow ridges trending in a southwest-northeast direction. These ridges prevent the flow of groundwater southeastward towards the St. Lawrence River, directing it instead towards the northeast.

Another groundwater feature is a probable discharge of groundwater into the Ottawa River (Fig. 6, no. 12). Many believe this feature is due to suspended sediments. This may be so: but it is also probable that the sediments are in suspension as a result of groundwater discharge.

ainsi que les nombreux lacs du bouclier précambrien (fig. 6, n° 3). L'élément le plus évident de la région, le bouclier précambrien, situé au nord de la rivière des Outaouais et caractérisé par de nombreuses structures de roche de fond (fig. 6, n° 4), se trouve hors de la région où l'on a entrepris l'étude hydrogéologique. On voit très clairement les contacts entre le bouclier et les roches sédimentaires (fig. 6, n° 5). L'ancien chenal du Saint-Laurent orienté vers le nord-est est nettement défini si l'on prend, comme côté nord du chenal, le contact précambrien, et, comme côté sud, les monts Adirondacks (fig. 6, n° 6). On voit également trois fondrières (fig. 6, n° 7) et les plages de la mer Champlain, une étendue d'eau d'origine glaciaire (fig. 6, n° 8).

Comparaison des images avec la carte hydrogéologique

Tous les éléments des sols et des eaux situés entre les deux cours d'eau et figurant sur les images peuvent être facilement comparés à ceux de la carte hydrogéologique (fig. 7). Sur l'image, on peut distinguer les divers éléments géomorphologiques, grâce aux contrastes entre les régions boisées et les zones agricoles. En ce qui concerne les trois fondrières (fig. 6, n° 7), l'humidité du sol et la couverture forestière permettent de les distinguer des régions contiguës.

Les figures 8 et 9 représentent encore une fois la même région. À remarquer cependant qu'on a pris les images à des dates différentes: l'image de la figure 8 a été prise le 3 septembre 1972, tandis que celles des figures 6 et 9 l'ont été le 6 octobre 1973. Cet écart saisonnier d'environ un mois et demi donne lieu à un contraste très marqué entre les nuances de couleur du bouclier précambrien, parce que, le 3 septembre, les feuilles étaient encore sur les arbres, alors que, le 6 octobre, elles étaient tombées. Les traits linéaires du bouclier précambrien apparaissent donc pour la première fois très clairement sur les figures 6 et 9.

D'autres éléments visibles sur les images sont: la sédimentation dans les cours d'eau, les autoroutes (401 et 417), un glissement de terrain, et maintes autres; toutefois, on n'a évalué que les principaux éléments directement liés à l'hydrogéologie.

Pour ce qui est des eaux souterraines, les régions argileuses (fig. 6, n° 9), et les fondrières (fig. 6, n° 7) constituent des zones d'émergence tandis que la plaine de till (fig. 6, n° 10), les sables de Saint-Lazare (fig. 6, n° 11) et les plages sablonneuses (fig. 6, n° 8) forment des zones d'alimentation.

Les études faites sur le terrain ont toujours fortement renforcé l'hypothèse selon laquelle de très faibles quantités d'eaux souterraines coulent de la plaine de till (fig. 6, n° 10) vers le fleuve Saint-Laurent. L'image de la figure 8

Finally, it should be noted that Figures 2, 4, 5, 6, 8, and 9 do not do the original LANDSAT I imagery justice. If some of the features discussed are not quite clear on the reproductions, this should be taken into consideration.

semble appuyer ces points de vue. Sur cette image, la plaine de till apparaît comme une série de crêtes longues et étroites orientées dans une direction sud-ouest-nord-est. Elles empêchent les eaux souterraines de s'écouler dans la direction sud-est, c'est-à-dire vers le fleuve Saint-Laurent, et les dirigent ainsi vers le nord-est.

Comme autre trait relatif aux eaux souterraines, il y a le déversement probable des eaux souterraines dans la rivière des Outaouais (fig. 6, n° 12). Beaucoup pensent que cela est dû aux matières en suspension. Ceci peut être vrai, mais il est également probable que les matières en suspension résultent du déversement des eaux souterraines.

Finalement, on devrait remarquer que les figures 2, 4, 5, 6, 8 et 9 ne reproduisent pas fidèlement les images LANDSAT I originales et ne leur rendent pas justice. Il faudrait donc en tenir compte si certains traits discutés n'apparaissent pas clairement sur les reproductions.

CONCLUSIONS

For regional groundwater studies, the 90-m resolution of the ERTS imagery is sufficient. As each image can be provided in a highly corrected format, a great improvement has been achieved over conventional uncontrolled aerial photograph mosaics. Furthermore, by looking at a false-colour composite made up of bands 4, 5, and 6 (band 8) with an ordinary magnifying glass, a three-dimensional effect is obtained.

In conclusion, the possibilities for extracting information from LANDSAT I imagery are remarkable. The imagery can help discover the areas with greatest potential for groundwater development by delineating areas with a high probability of groundwater occurrence. It also supplements and facilitates field observations, thereby improving and extending the scope of hydrogeological field surveys.

CONCLUSIONS

Pour les études des eaux souterraines au niveau régional, la résolution de 90 m des images du satellite ERTS est suffisante. Le fait de pouvoir obtenir chaque image très corrigée constitue un grand progrès par rapport aux mosaïques habituelles et non contrôlées fournies par les photographies aériennes. De plus, en examinant à la loupe ordinaire l'image en fausse-couleur obtenue par la superposition d'images des canaux 4, 5 et 6 (canal 8), on obtient un effet à trois dimensions.

En conclusion, on peut dire qu'il est possible de tirer de nombreux renseignements des images du satellite LANDSAT I. En indiquant les zones dans lesquelles il y a de fortes chances de trouver des eaux souterraines, ces images peuvent aider à découvrir les régions qui offrent le plus grand potentiel en matière d'exploitation des eaux souterraines, et mieux encore, elles servent de complément aux observations faites au sol et facilitent ces dernières, améliorant et élargissant ainsi la portée des études hydrogéologiques.

REFERENCES

- Carr, P.A. and Gross, H., 1972. Investigations of infrared anomalies in the Lac des Deux Montagnes area, Québec. Department of the Environment, Inland Waters Directorate, Scientific Series No. 19, 16 pp.
- Charron, J.E., 1969. Hydrochemical interpretation of groundwater movement in the Red River Valley, Manitoba. Department of Energy, Mines and Resources, Inland Waters Branch, Ottawa, Ontario, Scientific Series No. 2.

RÉFÉRENCES

- Carr, P.A. et H. Gross, 1972. *Investigations of infrared anomalies in the Lac des Deux Montagnes area, Quebec*. Ministère de l'Environnement, Direction générale des eaux intérieures, Étude n° 19, Série scientifique, 16 pages.
- Charron, J.E., 1969. *Hydrochemical interpretation of groundwater movement in the Red River Valley, Manitoba*. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Direction des eaux intérieures, Ottawa (Ontario), Étude n° 2, Série scientifique.

- Charron, J.E., 1976. Hydrochemical contouring. A pictorial hydrochemical study of groundwater flow in the interstream area of the Ottawa and St. Lawrence rivers. In preparation.
- Johnston, W.A., 1934. Surface deposits and groundwater supply of Winnipeg map-area, Manitoba. Department of Mines, Geol. Surv. Can. Manuscript 174.
- Mollard, J.D. and Carr, P.A. 1973. Applications of the ERTS-1 satellite in remote sensing of water resources data in Canada. COSPAR XVIth Plenary Meeting and Related Symposia, Konstanz, West Germany.
- Charron, J.E., 1976. *Hydrochemical contouring. A pictorial hydrochemical study of groundwater flow in the interstream area of the Ottawa and St. Lawrence rivers.* En préparation.
- Johnston, W.A., 1934. *Surface deposits and groundwater supply of Winnipeg map-area, Manitoba.* Ministère des Mines. Geol. Surv. Can. Mans. 174.
- Mollard, J.D. et P.A. Carr, 1973. *Applications of the ERTS-1 satellite in remote sensing of water resources data in Canada.* COSPAR XVIth Plenary Meeting and Related Symposia, Konstanz, Allemagne de l'Ouest.

Figures 1 to 9
Figures 1 à 9

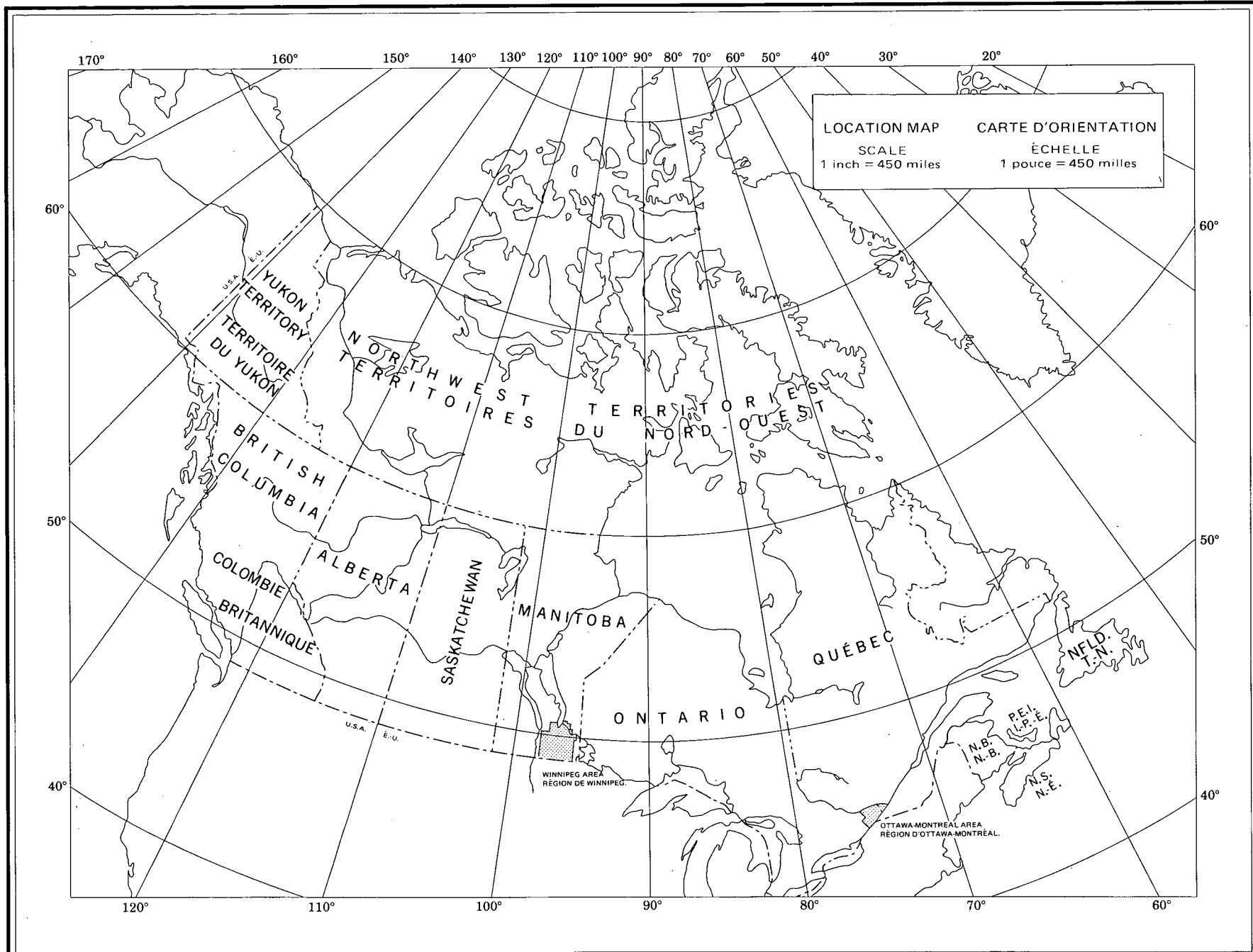


Figure 1. Location map.
Figure 1. Carte d'orientation.

17SEP73 C N49-56/W097-03 N N49-59/W096-52 MSS-6 -D SUN EL39 AZ151 195-05070-P-1-A-P-1L CCRS E-1421-16523-5

POSITION ERROR 10.00KM

NOT PRECISION PROCESSED

TRACK 5C FC 3325 NTS 62H
IMAGE DATA CREATED 17SEP74

100-1562

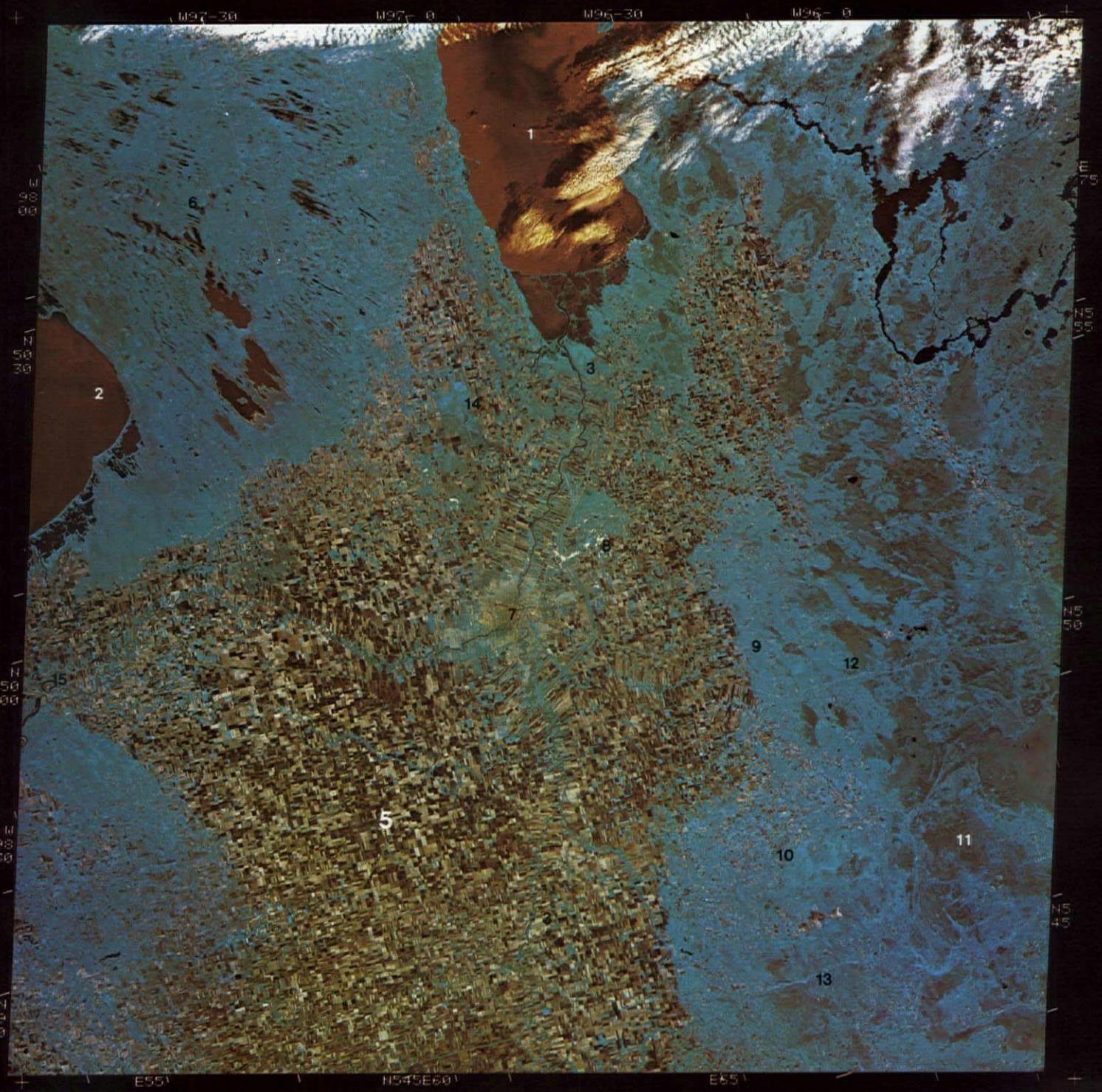


Figure 2. LANDSAT I imagery—Winnipeg area, Manitoba. City of Winnipeg—Lat. $49^{\circ} 52'$; long. $97^{\circ} 06'$. Imagery no.: E-1421-16523. Bands: 5, 6, and 7. Date of imagery: 17 September 1973.

Figure 2. Image LANDSAT I—région de Winnipeg, Manitoba. Ville de Winnipeg—lat. $49^{\circ} 52'$; long. $97^{\circ} 06'$. Image n° E-1421-16523; canaux 5, 6 et 7; prise le 17 septembre 1973.

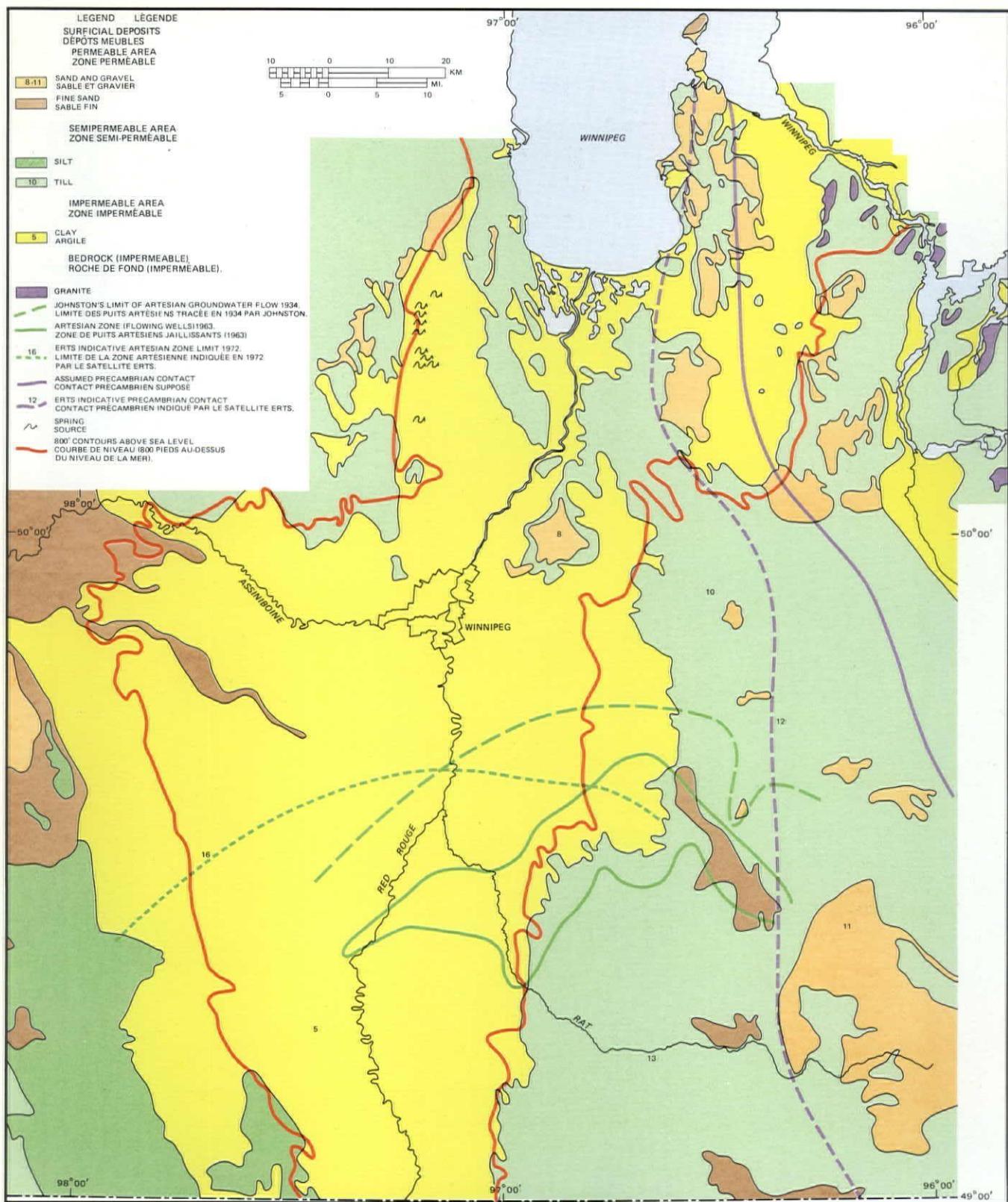


Figure 3. Hydrogeological map, Winnipeg area.
Figure 3. Carte hydrogéologique, région de Winnipeg.

17SEP73 C N49-56/W097-03 N N49-59/W096-52 MSS-8 -D SUN EL39 AZ151 195-05870-P-1-A-P-1L CCRS E-1421-16523-8

POSITION ERROR 10.00KM

NOT PRECISION PROCESSED

TRACK 5C FC 3325 NTS 62H
IMAGE DATA CREATED 17SEP74

100-4512

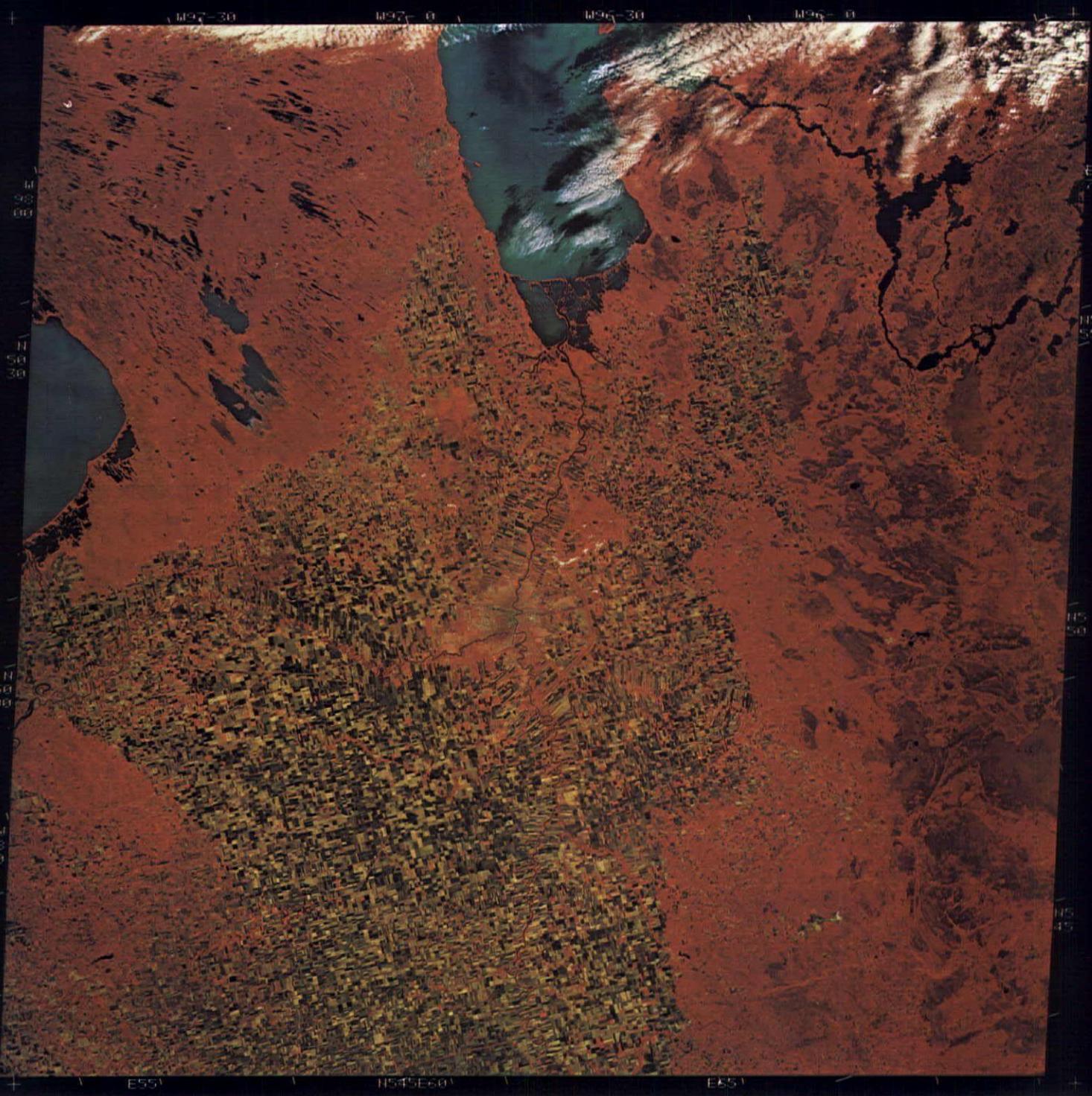


Figure 4. LANDSAT I imagery—Winnipeg area, Manitoba. City of Winnipeg—Lat. $49^{\circ} 52'$; long. $97^{\circ} 06'$. Imagery no.: E-1421-16523. Bands: 4, 5, and 7. Date of imagery: 17 September 1973.

Figure 4. Image LANDSAT I —région de Winnipeg, Manitoba. Ville de Winnipeg—lat. $49^{\circ} 52'$; long $97^{\circ} 06'$. Image n° E-1421-16523; canaux 4, 5 et 7; prise le 17 septembre 1973.

30JUL72 C N49-58/W096-55 N N50-02/W096-45 MSS-2 -D SUN EL53 A2138 195-00097-P-1-A-P-1L CCRS E-10007-16531

NOT PRECISION PROCESSED

POSITION ERROR: 10.00KM

FC 3325-1 TR 5C NTS 62H
IMAGE DATA CREATED 10JUN75

135-45 7

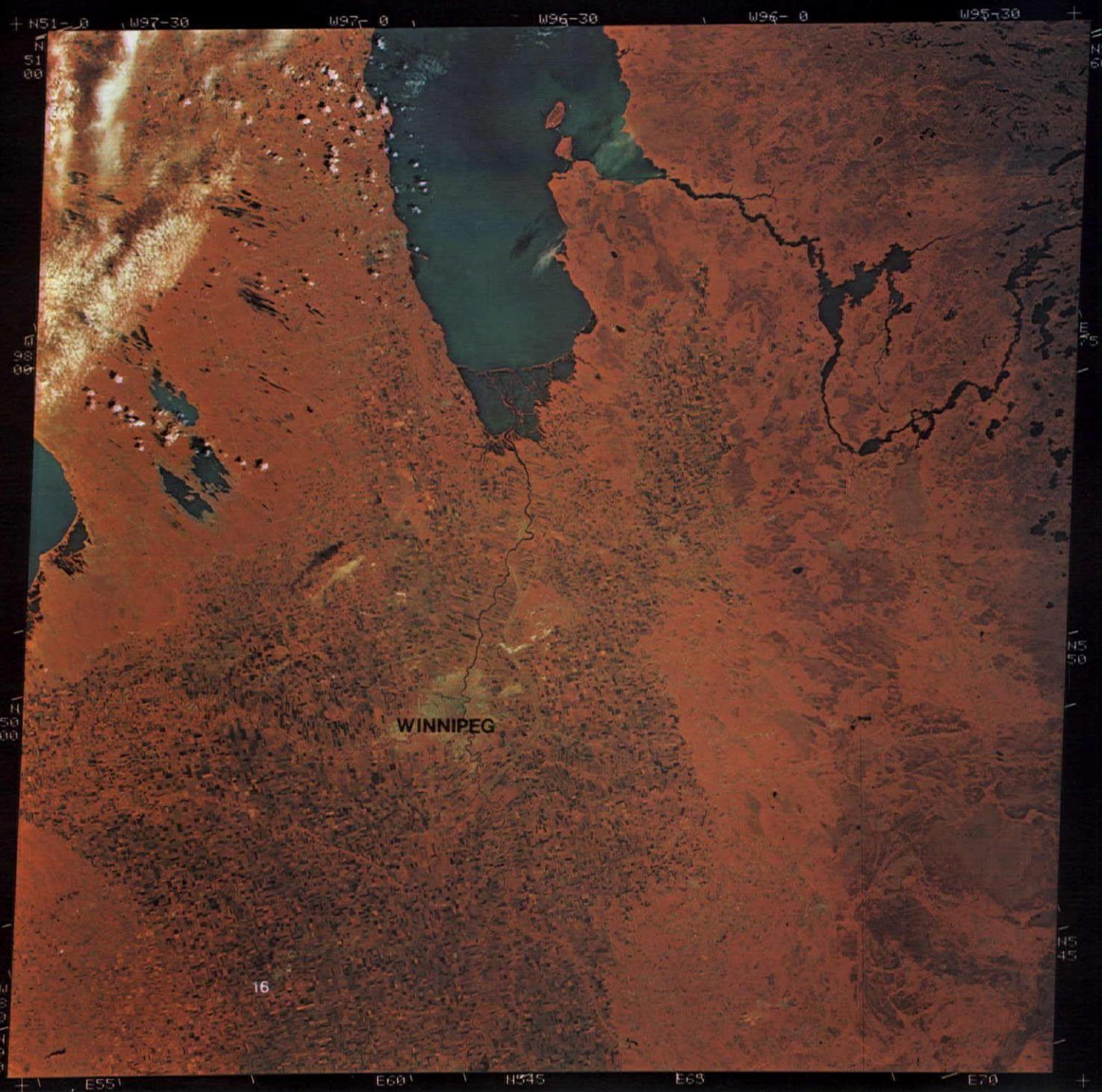


Figure 5. LANDSAT I imagery—Winnipeg area, Manitoba. City of Winnipeg—Lat. $49^{\circ} 52'$; long. $97^{\circ} 06'$. Imagery no.: E-1007-16531. Bands: 4, 5 and 7. Date of imagery: 30 July 1972.

Figure 5. Image LANDSAT I—région de Winnipeg, Manitoba. Ville de Winnipeg—lat. $49^{\circ} 52'$; long. $97^{\circ} 06'$. Image n° E-1007-16531; canaux 4, 5 et 7; prise le 30 juillet 1972.

60CT73 C N45-40/W074-26 N N45-44/W074-17 MSS-3 -D SUN EL35 A2152 195-06134-P-1-A-P-1L CCRS E-1440-15155-3

POSITION ERROR 10.00KM

NOT PRECISION PROCESSED

TRACK 6B FC 1628 NTS 31G
IMAGE DATA CREATED 17SEP74

469-45

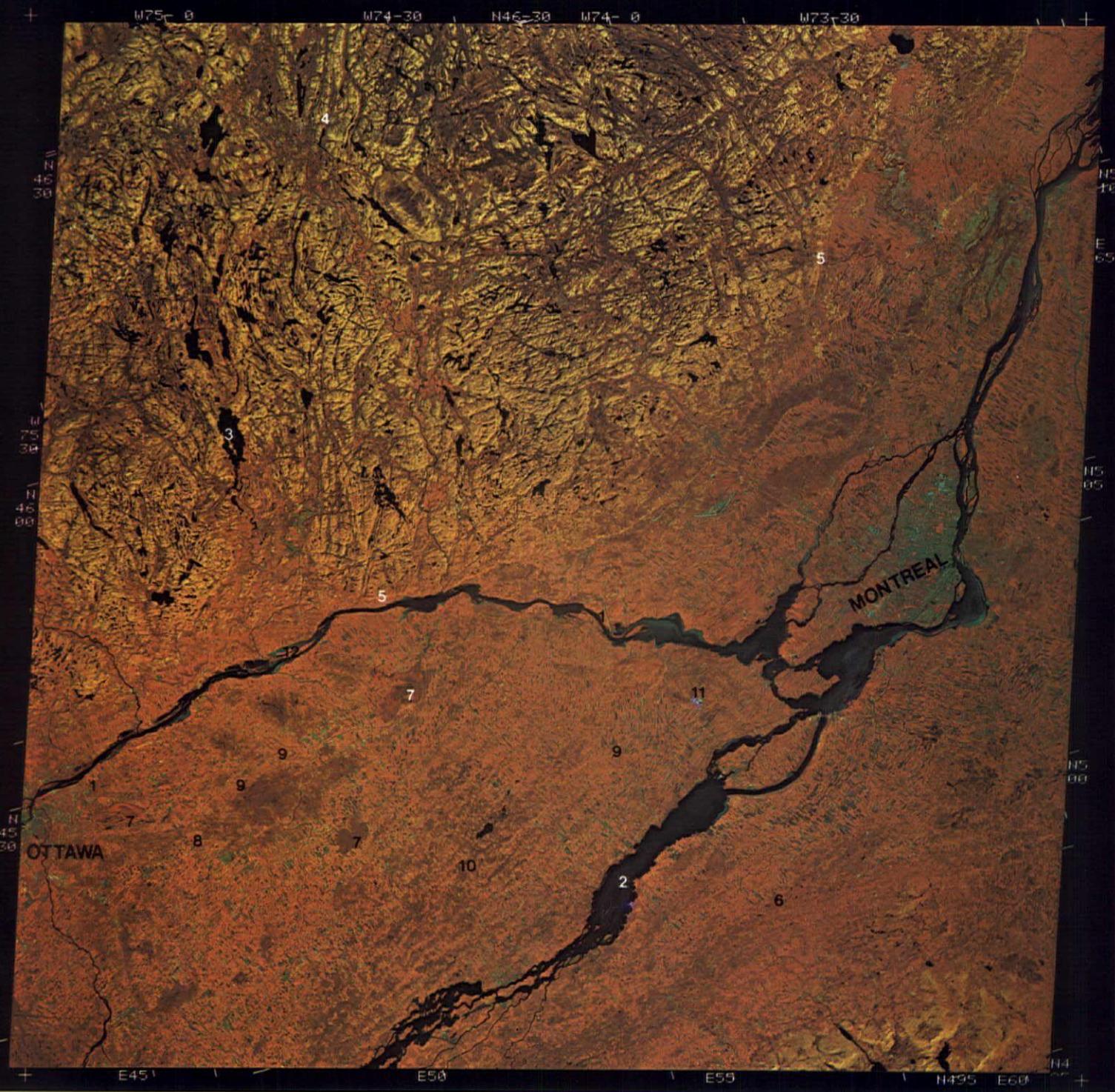


Figure 6. LANDSAT I imagery—Ottawa (Ontario)—Montreal (Quebec) area. City of Montreal—Lat. $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Imagery no.: E-1440-15154. Bands: 4, 5, and 7. Date of imagery: 6 October 1973.

Figure 6. Image LANDSAT I—région d'Ottawa (Ontario)—Montréal (Québec). Ville de Montréal—lat. $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Image n° E-1440-15154; canaux 4, 5 et 7; prise le 6 octobre 1973.

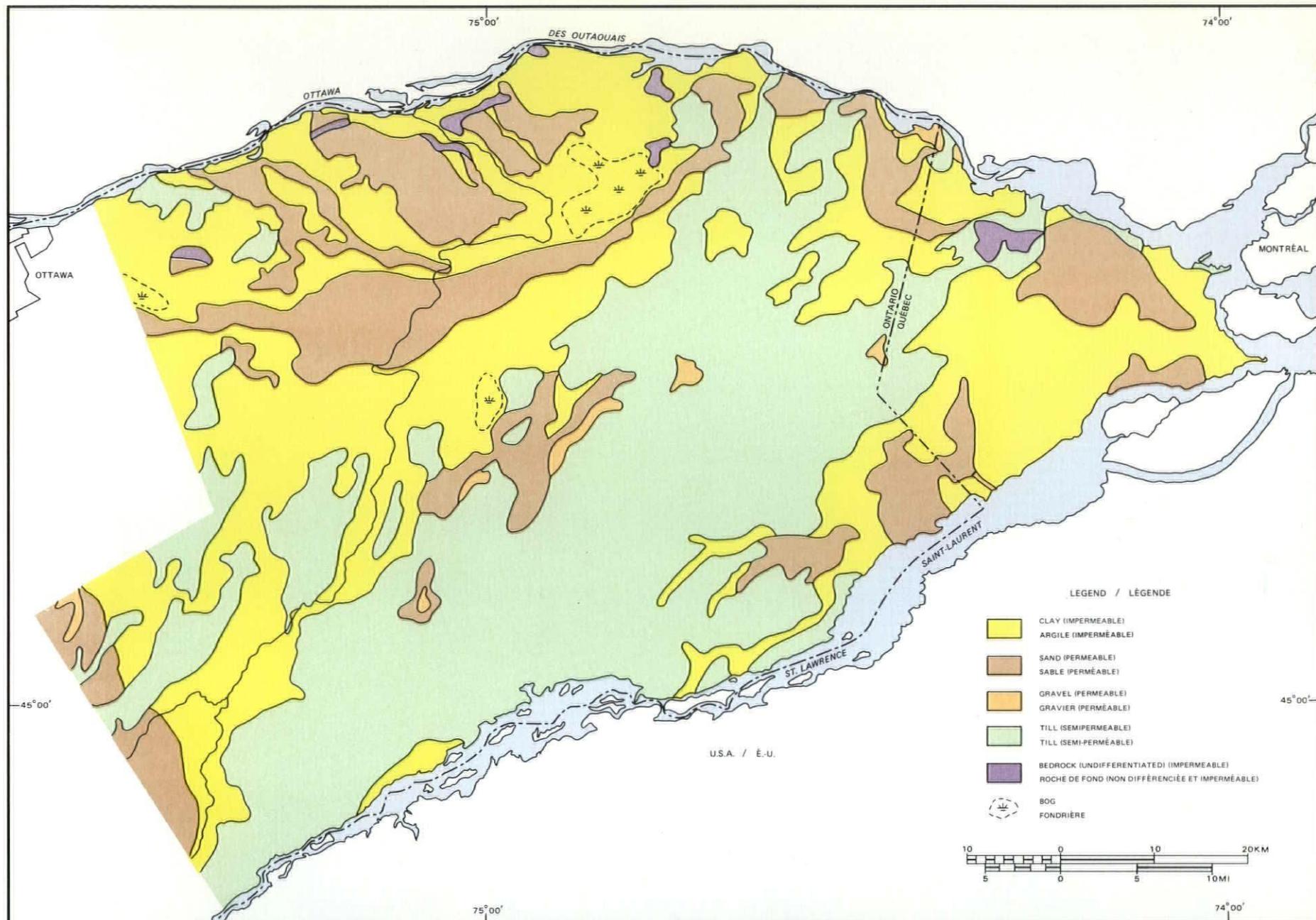


Figure 7. Hydrogeological map, Ottawa-Montreal area.
Figure 7. Carte hydrogéologique, région d'Ottawa—Montréal.

5 SEP/ 5 C N45-48/W074-19 N N45-53/W074-08 MSS- -D SUN EL46 AZ144 195-0612-P-1-A-F-B CORS E-1044-15170-
 UTM PROJECTION ZONE 18 KM 0 10 20 30 40
 POSITION ERROR 6.00%
 APPROX ALTITUDE 489NM
 SCALE 1:1.000.000 ECHELLE
 ST MI 0 5 10 15 20 25
 IMAGED 72/SEP/83 01:31:42 GMT
 PRECISION PROCESSED 72/NOV/22
 FORMAT CENTRE N45-41.8/W 74-1
 RECORDED ON EBIR

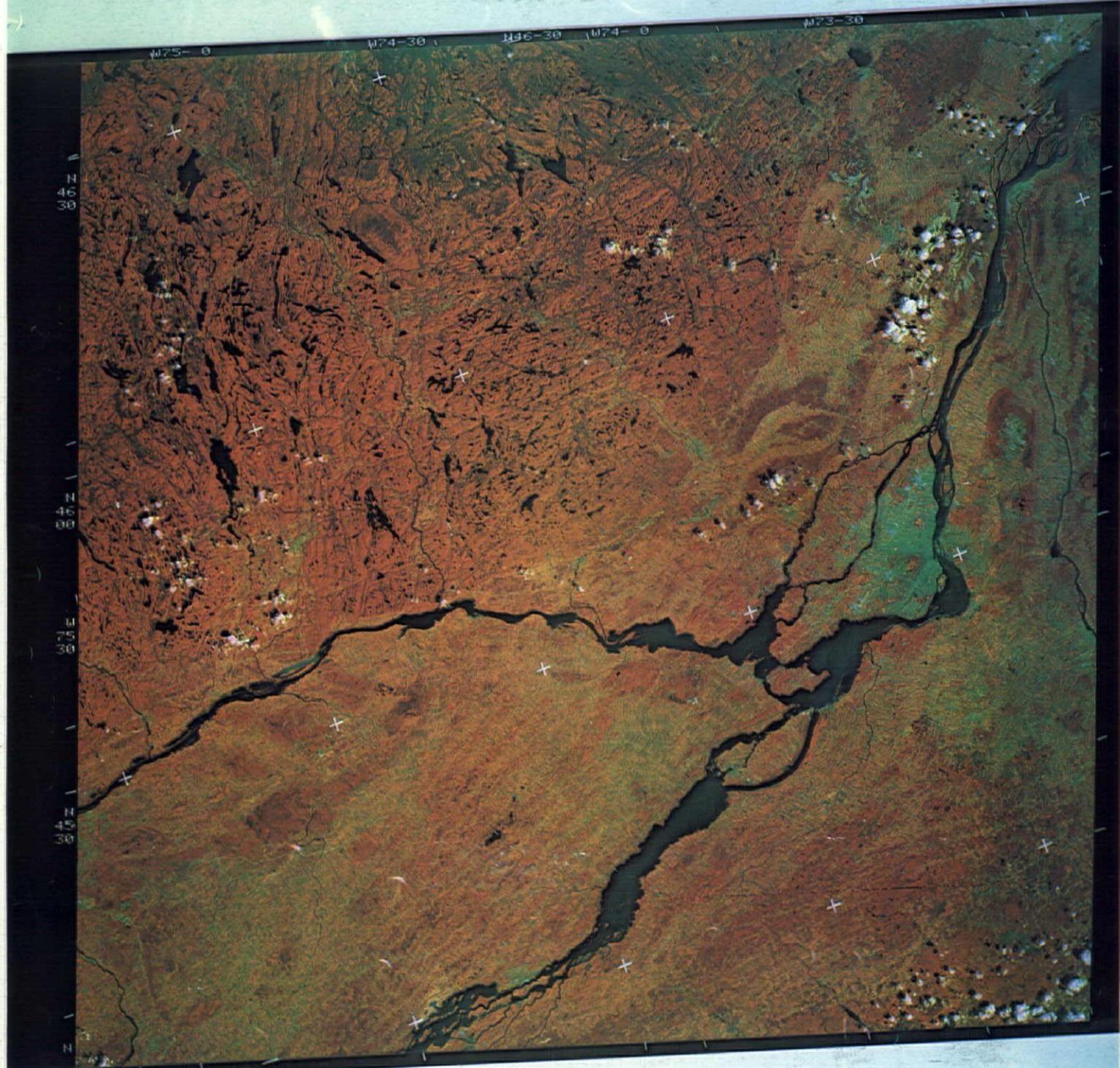


Figure 8. LANDSAT I imagery—Ottawa (Ontario)—Montreal (Quebec) area. City of Montreal—Lat. $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Imagery no.: E-1044-15170. Bands: 4, 5, and 6. Date of imagery: 3 September 1972.

Figure 8. Image LANDSAT I—région d’Ottawa (Ontario)—Montréal (Québec). Ville de Montréal—lat. $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Image no E-1044-15170; canaux 4, 5 et 6; prise le 3 septembre 1972.

60CT73 C N45-40/W074-26 N N45-44/W074-17 MSS-3 -D SUN EL35 A2152 195-06134-P-1-A-P-1L CCRS E-1440-15155-3

POSITION ERROR 10.00KM

NOT PRECISION PROCESSED

TRACK 6B FC 1628 NTS 31G
IMAGE DATA CREATED 17SEP74

469-■567■

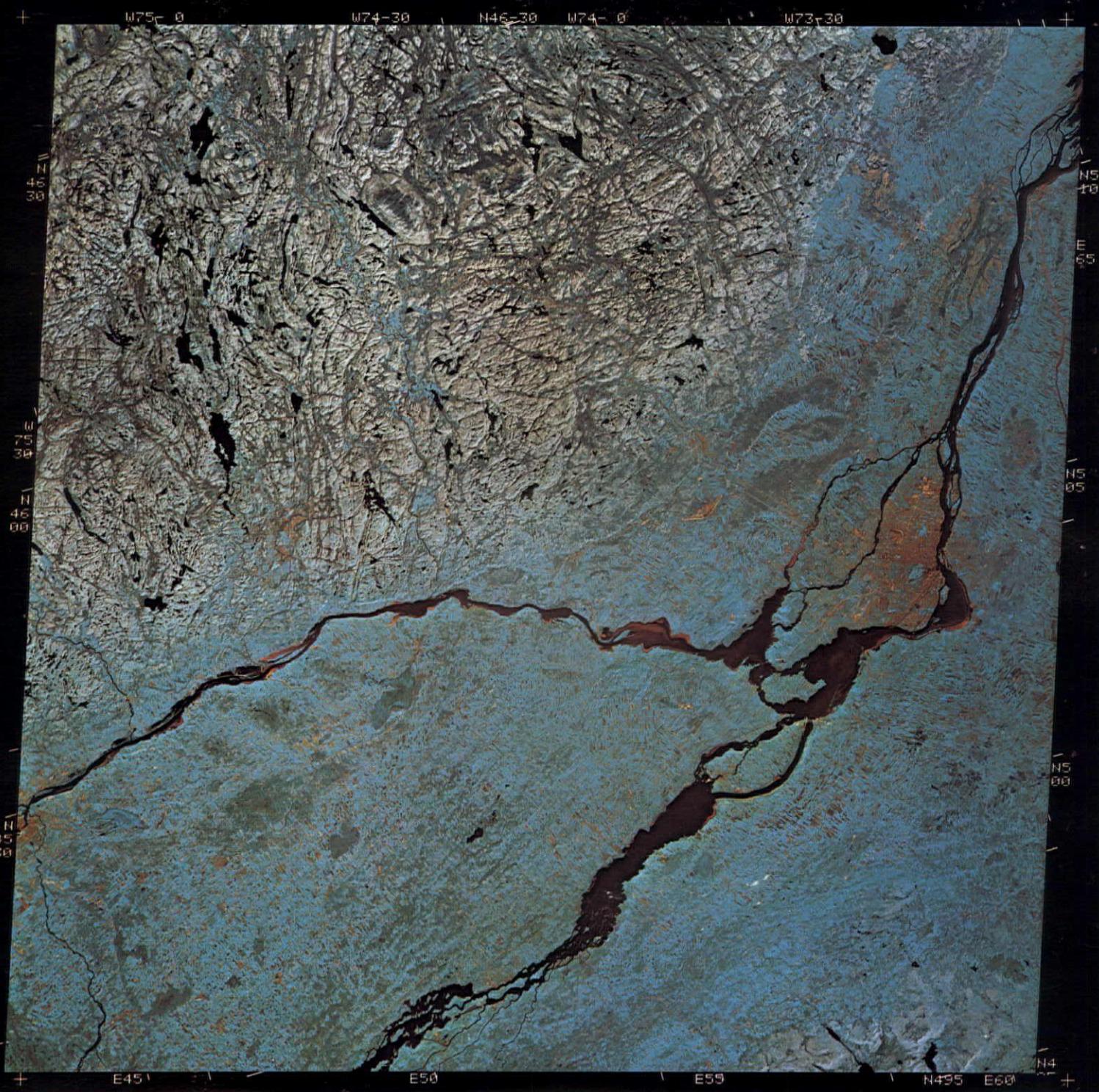


Figure 9. LANDSAT I imagery—Ottawa (Ontario)—Montreal (Quebec) area. City of Montreal—Lat. $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Imagery no.: E-1440-15154. Bands: 5, 6, and 7. Date of imagery: 6 October 1973.

Figure 9. Image LANDSAT I—région d'Ottawa (Ontario)—Montréal (Québec). Ville de Montréal—lat $45^{\circ} 30'$; long. $73^{\circ} 45'$. Image n° E-1440-15154; canaux 5, 6 et 7; prise le 6 octobre 1973.