

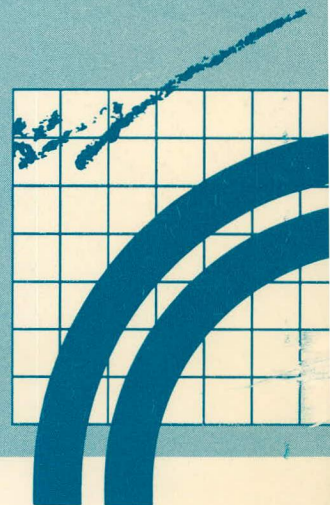
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



SYSTÈME PROTOTYPE À RÉFÉRENCE SPATIALE POUR LA GESTION DU RÉSEAU ROUTIER

GABRIEL ARANCIBIA
FRANÇOIS CAVAYAS

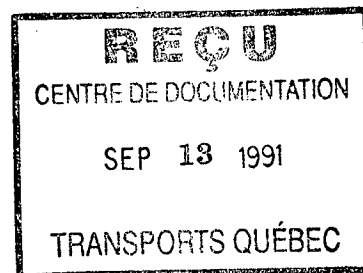
TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION



CANQ
TR
BSM
RE
111

244214

**SYSTÈME PROTOTYPE À RÉFÉRENCE SPATIALE
POUR LA GESTION DU RÉSEAU ROUTIER
INTÉGRANT DES IMAGES SATELLITES
ET DES DONNÉES CARTOGRAPHIQUES**



DOP - CEN - MON

CANQ
TR
BSM
IRE
111

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

Cette publication est éditée par la
Direction des communications du
ministère des Transports du Québec.
Pour se la procurer, téléphoner au
(418) 643-6860 ou écrire à:

Direction des communications
Ministère des Transports du Québec
700, boul. Saint-Cyrille Est
18^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

Dépôt légal, 2^e trimestre 1991
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-22161-3



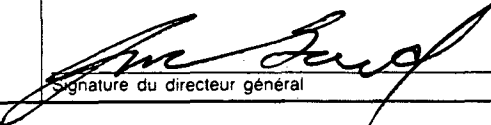
Titre et sous-titre du rapport SYSTÈME PROTOTYPE À RÉFÉRENCE SPATIALE				N° du rapport Transports Québec RTQ-91-02	
POUR LA GESTION DU RÉSEAU ROUTIER				Rapport d'étape ☐ An Mois Jour Rapport final ☒ 9 0 0 3 2 2	
				N° du contrat	
Auteur(s) du rapport François Cavayas; Gabriel Arancibia				Date du début d'étude Date de fin d'étude 8 9 0 3 2 2 9 0 0 3 2 2	
				Coût de l'étude 87 600, \$	
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Image-Géo enr. 4615, rue Saint-Kevin, app. 2 Montréal (Québec)			Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) Direction de la recherche Service de l'innovation et de la recherche en technologie 1410, rue Stanley, 11e étage Montréal (Québec)		
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires Créer une base de données à référence spatiale pour le réseau routier de deux districts québécois; développer un logiciel de gestion et d'exploitation de la base de données; développer un logiciel d'extraction des données sur le réseau routier, à partir d'images prises par le satellite SPOT-1.					
Résumé du rapport L'objectif du projet était de développer un système prototype à référence spatiale pour des fins de gestion du réseau routier québécois. Ce système devait être en mesure d'intégrer des données provenant des diverses sources telles que : inventaire structural du ministère des Transports du Québec, images satellites et cartes thématiques existantes. La démarche méthodologique envisagée pour le développement de ce système comportait les étapes suivantes: - création d'une base de données à référence spatiale sur le réseau routier; - développement d'un logiciel de gestion et d'exploitation de la base de données; - développement d'un logiciel d'extraction de données sur le réseau routier et son environnement à partir d'images satellites et d'intégration de ces informations à la base de données. Ce rapport décrit la démarche suivie et les résultats obtenus. Il se divise en deux parties. La première porte sur la base de données à référence spatiale et les logiciels de traitement et gestion de l'information qui ont été développés. Il en ressort qu'il est tout à fait possible de gérer les renseignements de l'inventaire structural de tout le réseau routier numéroté du Québec, de façon efficace et rapide, sur un simple micro-ordinateur. La deuxième partie du rapport décrit les essais effectués à partir d'images satellites SPOT. Avec la résolution actuelle des images SPOT, l'imagerie satellite offre un potentiel intéressant pour la mise à jour automatisée des cartes routières, à condition d'utiliser des cartes numérisées comme point de départ des recherches automatisées. La résolution spatiale des images SPOT peut nous permettre de reconnaître certains types de revêtement (béton de ciment, béton bitumineux, gravier) à condition que la largeur de la route soit d'au moins 10 mètres et que le revêtement contraste bien avec le milieu environnant.					
Nbre de pages 57	Nbre de photos 32	Nbre de figures 7	Nbre de tableaux 7	Nbre de références bibliographiques 10	Langue du document ☒ Français ☐ Anglais
Mots-clés Géomatique; Télédétection; Cartographie satellite; SPOT				Autorisation de diffusion ☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite	
				Signature du directeur général  9 1 0 3 2 1 Date	

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
INTRODUCTION	1
PARTIE I: DESCRIPTION DU SYSTÈME PROTOTYPE	2
1. SOURCES DE DONNÉES CARTOGRAPHIQUES ET TERRITOIRES-PILOTES	3
2. MÉTHODES DE NUMÉRISATION DES CARTES	5
2.1 Numérisation vectorielle: volume de données et précision	5
2.2 Numérisation raster : volume de données et précision	11
2.3 Transformation des coordonnées dans le système UTM	12
3. LE LOGICIEL PROTOTYPE DE TRAITEMENT GRAPHIQUE ET NUMÉRIQUE DE DONNÉES	14
3.1 Conception et structuration de la base des données	14
3.2 Structure générale du logiciel	17
3.3 La manipulation cartographique	20
3.4 Le traitement statistique	24
3.5 Intégration des données d'autres sources	26
PARTIE II: POTENTIEL DES IMAGES SATELLITES	29
1. LES IMAGES SATELLITES	30
1.1 Images satellites et lieu d'étude	31
1.2 Possibilité d'extraction automatique du réseau routier	34
1.3 Analyse des signatures spectrales	43
1.3.1 Réseau numéroté	43
1.3.2 Réseau non numéroté	51
1.4 Autres traitements	57
CONCLUSIONS	58
BIBLIOGRAPHIE	59

INTRODUCTION

Ce document décrit les travaux effectués par Image-GEO Enr. dans le cadre du projet N/Réf. : 434.3-039 subventionné par le ministère des Transports (programme d'aide à la recherche et au développement en transport) pendant la période déterminée de mai 1989 à mars 1990.

L'objectif de ce projet de recherche était de développer un système prototype à référence spatiale pour des fins de gestion du réseau routier provincial. Ce système devrait être en mesure d'intégrer des données provenant des diverses sources telles que: inventaire structural du MTQ, images satellites et cartes thématiques existantes. La démarche méthodologique envisagée pour le développement de ce système comportait les étapes suivantes:

- création d'une base de données à référence spatiale sur le réseau routier;
- développement d'un logiciel de gestion et d'exploitation de la base de données;
- développement d'un logiciel d'extraction de données sur le réseau routier et son environnement à partir d'images satellites et d'intégration de ces informations à la base de données.

Ce rapport est divisé en deux parties. Dans la première, nous présentons le système prototype développé, ses caractéristiques et ses possibilités. De plus, cette partie comprend les résultats d'analyses concernant le volume et la précision des données cartographiques nécessaires pour répondre aux besoins du MTQ. Dans la seconde partie, nous décrivons les résultats de nos expériences effectuées à l'aide des images satellites, ainsi que le potentiel de cette méthode pour la mise à jour et l'intégration au système proposé au MTQ.

PARTIE I: DESCRIPTION DU SYSTÈME PROTOTYPE

1. SOURCES DE DONNÉES CARTOGRAPHIQUES ET TERRITOIRES-PILOTES

La conception d'une base de données cartographiques pour des fins de gestion du réseau routier doit tenir compte à la fois de la référence spatiale, du réseau routier même, et des données d'inventaire sur l'état de ce réseau. Dans ce dernier cas, le MTQ compte actuellement un inventaire informatisé du réseau routier numéroté. Pour des fins de gestion, le Québec est divisé en 49 districts et les données recueillies lors de cet inventaire par district se rapportent à une unité de base qui est la sous-section/section/tronçon/route. Nous avons donc retenu, comme élément de référence spatiale cette unité d'inventaire. Pour pouvoir visualiser sous forme de carte l'état du réseau routier par district, il est nécessaire de saisir les coordonnées X,Y (suivant un système de projection cartographique) décrivant cette entité.

Le MTQ a des cartes par district présentant le début et la fin de chaque sous-section. Ces cartes sont à l'échelle 1:125 000e, sauf pour les districts 65 (Montréal) et 20 (Québec) qui sont au 1: 50 000e et les districts Chibougamau et Havre Saint-Pierre au 1:250 000e. Ces cartes peuvent donc être utilisées afin de saisir les coordonnées X,Y. Une autre option est d'utiliser des cartes topographiques déjà numérisées par le MER (1:20 000e) ou le EMR (1:50 000e). Cette option n'a pas été retenue pour les raisons suivantes:

- 1) Dans le cas du territoire québécois, très peu de cartes numérisées sont disponibles;
- 2) le découpage du territoire n'étant pas compatible avec celui du MTQ, un travail d'édition et de restructuration de cette base de données aurait été nécessaire;
- 3) les éléments de route, à savoir début et fin d'un tronçon, section et sous-section, n'étant pas indiqués sur ces cartes, un travail additionnel important aurait été requis afin de rendre cette base de données accessible à notre logiciel.

Dans notre projet de recherche, nous avons prévu effectuer nos travaux sur deux territoires-pilotes (districts). Notre choix s'est arrêté sur les districts 65 (Montréal) et 56 (Boucherville). Ces territoires ont été retenus en fonction des

critères suivants: 1) la densité du réseau routier numéroté, 2) l'existence d'images satellites de bonne qualité, 3) la différence d'échelles des cartes de base, nous permettant d'effectuer divers tests sur la précision cartographique et 4) la proximité de ces territoires à notre lieu de travail.

Le district 65 (région 6-3) a une très grande densité de routes permettant ainsi de vérifier les capacités de notre logiciel sous la contrainte d'un grand volume de données. Dans ce territoire se trouvent plus d'une quinzaine d'autoroutes numérotées qui sont sous la juridiction du MTQ.

L'autre territoire-pilote retenu, Boucherville (56), a une proportion importante des secteurs ruraux adjacents aux zones urbanisées. Cette région se trouve à l'est du district 65 et il y a une quinzaine de municipalités et huit routes numérotées. Nous avons opté pour ce district vu l'existence d'une carte au 1:50 000e provenant d'un levé géotechnique, nous permettant ainsi d'expérimenter le mode d'intégration dans la base de données, d'informations cartographiques autres que celles du MTQ.

Les cartes de fond ainsi que l'inventaire structural de ces deux districts nous ont été fournis par le MTQ.

2. MÉTHODES DE NUMÉRISATION DES CARTES

Actuellement, les coordonnées des éléments du réseau routier peuvent être saisies à l'aide d'une table de numérisation et/ou d'un numériseur de masse (scanner). La première méthode nous permet d'établir une base de données vectorielle, tandis que la deuxième fournit des données en format raster. Pour l'acquisition de nos données, nous avons utilisé la première méthode, en nous servant de la table de numérisation GRADICON disponible à l'Université de Montréal. La deuxième méthode a été aussi utilisée à titre expérimental pour le district 65 en nous servant du système OPTRONICS-4040 disponible au ministère de l'Environnement du Canada.

2.1 Numérisation vectorielle: volume de données et précision

La saisie des données à l'aide de la table de numérisation nous a permis de relever les coordonnées X,Y du point de début et de la fin de chaque sous-section, ainsi que les coordonnées de tout point intermédiaire afin de bien reproduire la courbure de la route. Les coordonnées saisies ont été ensuite transformées selon un système de projection tel que décrit à la section 2.3. Nous avons aussi effectué une série de tests afin d'évaluer le volume et la précision des données cartographiques générées par cette méthode.

La numérisation vectorielle des cartes de deux districts-pilotes nous a permis de comparer le volume des données générées pour représenter le réseau routier en fonction de l'échelle de la carte numérisée. Pour ce faire, nous avons comparé le rapport entre le nombre de points relevés par district et la longueur du réseau (en kilomètres de route). Le tableau 2.1 montre les résultats de cette comparaison. Étant donné que pour chaque sous-section nous devons relever au moins deux points et que la longueur moyenne en kilomètres d'une sous-section est du même ordre de grandeur dans les deux districts, le tableau 2.1 démontre qu'il y a une tendance à relever plus de points pour une plus grande échelle. Dans ce cas particulier, nous avons prélevé 19 % plus de points par kilomètre au 1:50 000e qu'au 1:125 000e.

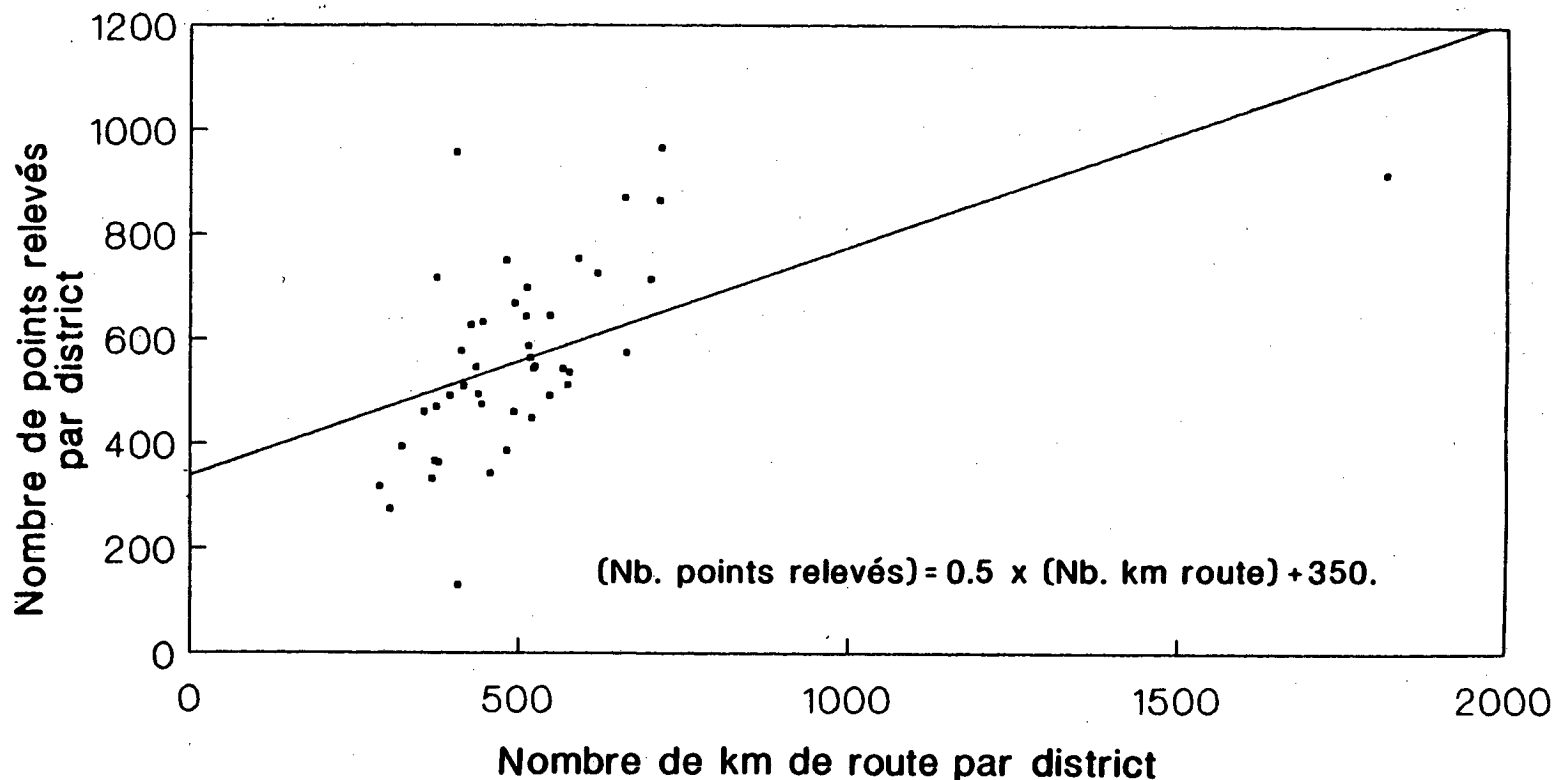
Tableau 2.1 Volume de données par district

DISTRICT	ÉCHELLE	LONG RÉSEAU (km)	POINTS NUMÉRISÉS	POINTS AU km	NOMBRE DE SOUS-SECT.
MONTREAL (65)	1:50 000e	993,29	1 242	1,25	540
BOUCHERVILLE (55)	1:125 000e	523,37	547	1,05	280

Afin de mieux évaluer le volume de données généré lors de cette méthode de numérisation pour une seule échelle (1:125 000e), nous avons calculé le nombre de points relevés par kilomètre de route par district à partir des données fournies par l'Université de Montréal [Cavayas et Chaput, 1989]. Les résultats sont montrés à la figure 2.1 où nous pouvons constater qu'une tendance linéaire existe entre la longueur du réseau et le volume de données généré. À titre d'exemple, pour un réseau de 250 à 500 kilomètres, nous devons numériser entre 250 et 1000 points selon le degré de complexité des routes et la longueur des sous-sections. Cette tendance est moins significative lorsqu'on examine la relation entre le volume généré et la densité de routes par district. Cette dernière a été calculée comme le rapport de la longueur totale du réseau (kilomètres) à la superficie du district (km^2) [voir figure 2.2]. La superficie de chaque district a été évaluée à partir des coordonnées d'une série de points numérisés décrivant son contour indiqué sur les cartes de fond du MTQ.

VOLUME DE DONNEES

NOMBRE DE KILOMETRES DE ROUTE VS NOMBRE DE POINTS RELEVES

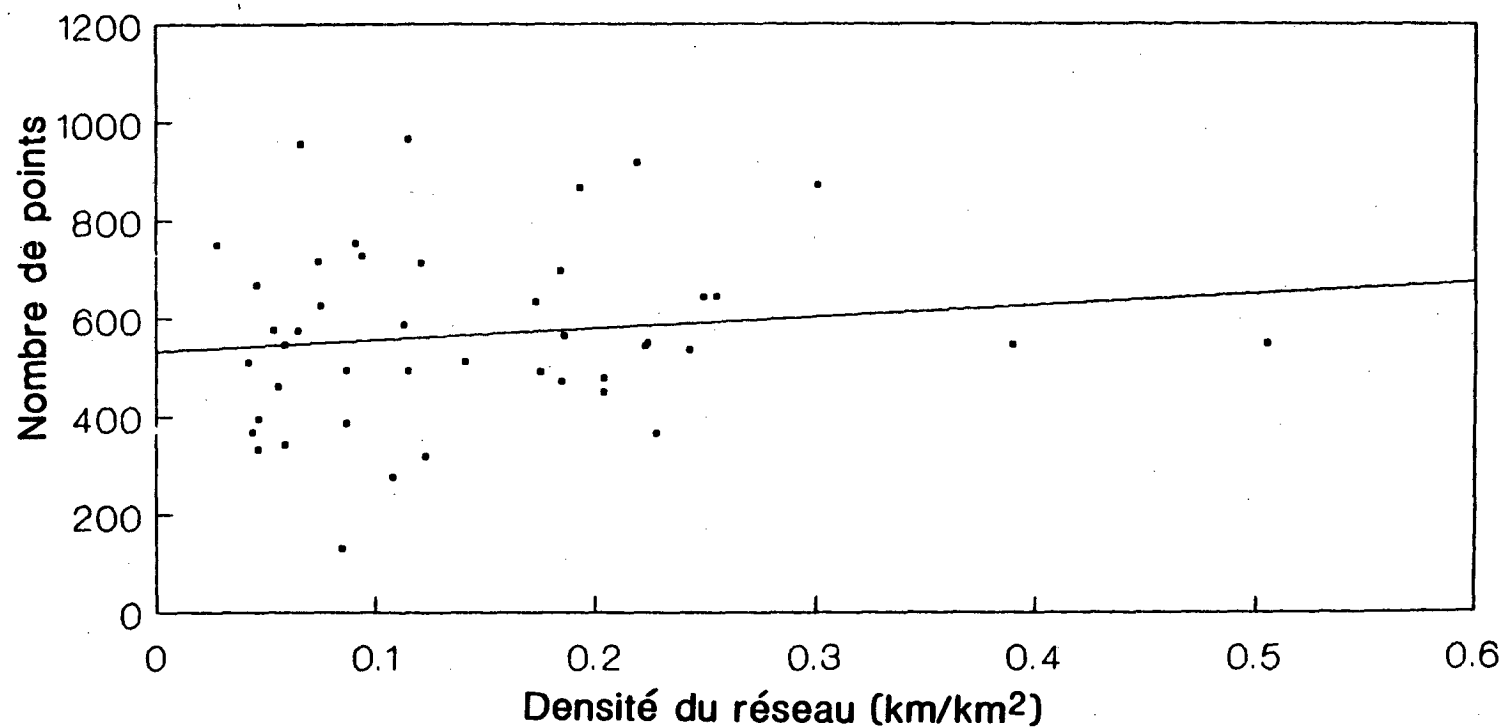


cartes du M.T.Q. au 1:125000
(Montréal et Québec exclus)
numérisation: Lab. de télédétection

FIGURE 2.1 Volume de points numérisés en fonction de la longueur du réseau par district (échelle 1:125 000e)

VOLUME DE DONNEES

NOMBRE DE POINTS RELEVES VS DENSITE DU RESEAU ROUTIER



SELON CARTES DU M.T.Q.
NUMERISATION : LAB. DE TELEDETECTION
F. CAVAYAS et J. CHAPUT

FIGURE 2.2 Volume de points numérisés en fonction de la densité du réseau par district (échelle 1 : 125 000e)

Quant à la précision de la base de données spatiales, il y a plusieurs façons de l'exprimer: a) précision de localisation d'un point au sol, b) précision de la localisation d'une sous-section au sol et c) précision de la prise de mesures (distances-superficies-angles).

Pour évaluer la précision de localisation d'un point au sol, il faut considérer la résolution de pointage du curseur de numérisation et la précision de la carte. Ceci pourrait être exprimé ainsi:

$$R_n = (R_p^2 + R_c^2)^{1/2}$$

La résolution du pointage du curseur, R_p , selon la spécification de la table numérisante GRADICON est de $\pm 0,004''$ (0,1 mm). Ceci se traduit pour les échelles utilisées à une incertitude de la localisation au sol d'un point de l'ordre de 5 m (1:50 000e) et de 12,5 m (1:125 000e) respectivement. En assumant que l'erreur planimétrique des cartes utilisées est de ± 50 m (1:50 000e) et de ± 125 m (1:125 000e), la formule ci-dessus nous donne un indice de la précision de localisation d'un point numérisé au sol de $\pm 50,25$ et $\pm 125,60$ respectivement. Ceci montre qu'a priori notre numérisation n'a pas contribué significativement aux erreurs de localisation d'un point. Donc, dans notre cas, la précision de notre base de données est plutôt fonction du support cartographique utilisé.

La précision de localisation d'une sous-section au sol est fonction de la reproduction de la courbure de la route sur le support cartographique employé ainsi que du nombre de points relevés pour la représenter ensuite dans la base de données. Ces imprécisions s'ajoutent à l'erreur planimétrique définie précédemment. Il est donc difficile d'évaluer d'une façon analytique ce type d'erreur. Cependant, étant donné que toutes ces erreurs influencent la précision de la prise de mesures, une façon simple d'exprimer la qualité globale de nos données numériques est de comparer la longueur d'une sous-section évaluée à partir de notre base de données à celle indiquée par l'inventaire structural du MTQ (donnée en mètres). Pour ce faire, nous avons séparé les sous-sections par district-pilote en catégories, en fonction du nombre de points relevés pour les décrire dans la base de données. Pour chaque catégorie, par la suite, nous avons calculé la différence moyenne entre la longueur de chaque sous-section dans la base de

données et dans l'inventaire. Le tableau 2.2 présente les résultats de ce test. Deux conclusions importantes peuvent être tirées de ce tableau: a) la précision dans la définition de la longueur est de l'ordre de la précision planimétrique attendue du support cartographique employé (± 50 m et ± 125 m respectivement) et b) il y a une tendance à augmenter l'imprécision lorsque la courbure de la route est plus grande (points relevés plus nombreux pour permettre la conservation de la courbure de la route, par exemple plus que quatre par sous-section). Il est à noter que pour ce test nous avons considéré que les données du MTQ sont exemptes d'erreurs.

Tableau 2.2 Différence absolue moyenne entre la longueur d'une sous-section estimée après numérisation et sa longueur indiquée par l'inventaire structural du MTQ

Nombre de points relevés par sous-section	Nombre de sous-sections	Différence abs. moyenne (mètres)
CARTES DE FOND 1: 50 000e		
District 65 Ouest		
2	73	42
3	46	66
4	40	78
5 et plus	26	92
District 65 Est		
2	134	73
3	77	66
4	56	63
5 et plus	42	99
CARTE DE FOND 1: 125 000e		
District 56		
2	182	143
3	71	135
4	11	194
5 et plus	4	167

2.2 Numérisation raster: volume de données et précision

Dans notre expérimentation avec un scanner, nous avons numérisé la carte du MTQ concernant le district 65. Cette carte couvre un territoire de 40 km x 60 km à l'échelle de 1:50 000e. Sa reproduction sur film fournie par le MTQ a été utilisée pour le balayage. La résolution du scanner employée a été de 100 m, ce qui représente une résolution au sol de 5 m (dimension du pixel) . Ceci a généré une matrice de 8510 colonnes x 13462 lignes (incluant les bordures de la carte). Bien que cette résolution fournisse une reproduction fidèle de la carte, le volume de données généré dépasse les deux cents millions de bits (représentation binaire). La planche 2.1 montre une partie de la carte balayée. Même si le volume initial de données est grand, il existe des algorithmes nous permettant de changer efficacement la résolution du pixel aux dimensions désirées ("thinning") sans perte de l'information tout en diminuant ce volume de façon appréciable [Greenlee, 1987]. Une fois l'image binaire réduite à la résolution voulue, elle présente de nombreux avantages pour le type de système d'information développé:

- 1) nous pouvons nous en servir comme carte de fond pour faciliter la visualisation des éléments du district et ainsi nous repérer plus facilement sur l'écran vidéo;
- 2) moyennant des traitements supplémentaires, nous pouvons la rendre compatible avec la base de données vectorielles et ainsi avoir une base de données complète et extrêmement polyvalente.

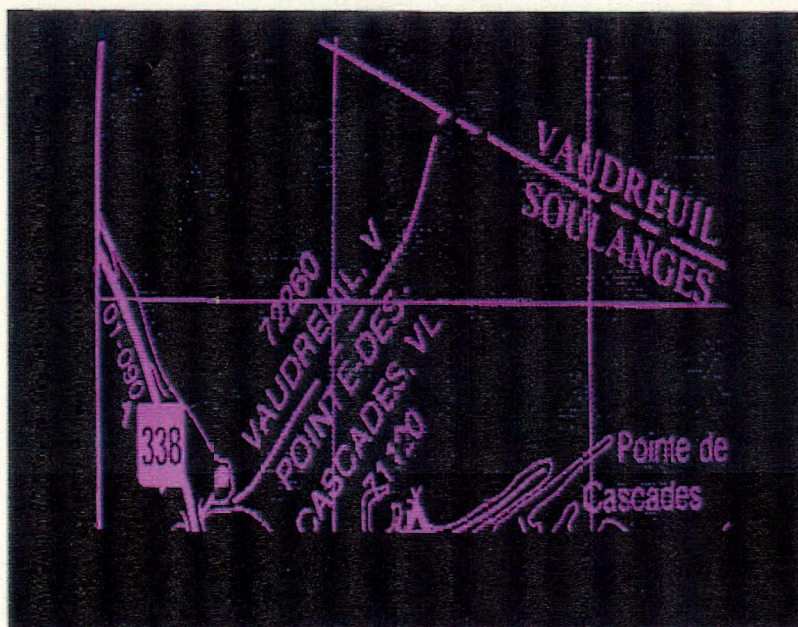


PLANCHE 2.1 Image d'une partie du district 65 numérisée avec un scanner

2.3 Transformation des coordonnées dans le système UTM

Peu importe la méthode de numérisation choisie, les coordonnées saisies doivent être transformées dans un système à référence cartographique, comme par exemple le système UTM. Nous avons cependant constaté que les cartes du MTQ proviennent d'un découpage en fonction des limites de district et non d'un découpage cartographique rigoureux, comme celui employé pour la cartographie topographique. Nous pensons qu'une uniformisation des coordonnées des points du réseau routier au niveau provincial faciliterait grandement des opérations comme: mesure des distances, repérage, mise à jour (ajout des nouvelles routes, changement des limites des districts), etc. Il est à remarquer qu'une telle uniformisation permettrait aussi des analyses globales du réseau ainsi que l'ajout d'autres informations complémentaires provenant d'autres sources (relevés géotechniques, données de télédétection,...).

Généralement, le passage des coordonnées-appareil en coordonnées-UTM peut être effectué à l'aide de points de contrôle relevés sur la carte à numériser, dont les coordonnées UTM sont connues. Cependant, les cartes de districts choisies n'avaient aucune référence géodésique précise. Afin de contourner ce problème, nous nous sommes servis des cartes topographiques au 1: 50 000e pour relever les coordonnées UTM d'une série de points de contrôle. Comme nous l'avons déjà mentionné, la carte de chaque district est orientée en fonction de sa disposition et non pas en fonction du nord géographique. Ceci implique que pour la visualisation cartographique, nous devons inclure dans la base de données l'information nécessaire pour que le logiciel puisse orienter la carte selon les spécifications du MTQ.

Dans les deux territoires-pilotes, nous avons transformé nos coordonnées dans le système UTM. Cette opération nous a permis également de faciliter l'intégration des données du MTQ avec les images satellites (voir partie II).

3. LE LOGICIEL PROTOTYPE DE TRAITEMENT GRAPHIQUE ET NUMÉRIQUE DE DONNÉES

3.1 Conception et structuration de la base des données

La constitution d'une base de données cartographiques du type réseau peut être effectuée en utilisant plusieurs méthodes, comme par exemple la méthode DIME (Dual Independent Mapping Encoding)[Cooke, 1987]. Ce concept, développé aux États-Unis, permet une codification de l'information dans la base de données surtout adaptée à la gestion municipale. Dans notre cas, nous avons expérimenté le concept de base de données utilisant le principe du "dictionnaire de points". Cette méthode de structuration s'est avérée efficace dans le cadre d'un autre projet effectué à l'Université de Montréal pour le compte du MTQ [Cavayas et Chaput, 1989] . La structure de cette base de données consiste en deux fichiers séparés: a) un fichier des coordonnées et b) un fichier index. Selon cette structure, chaque entité cartographique élémentaire (sous-section) est décrite par une série de points numérotés d'une façon unique dont les coordonnées X,Y sont incluses dans le premier fichier. Les numéros de points la décrivant ainsi que toute information rattachée à cette entité (nom de l'identificateur, qualité, drainage, fissuration et rapiéçage) sont inclus dans le fichier index. Le fait d'utiliser deux fichiers séparés facilite beaucoup l'accès aux données soit par une carte ou d'une façon directe, ainsi que la gestion de la base de données.

Le fichier des coordonnées numérisées est composé de deux champs où se trouvent les coordonnées X et Y de tous les points numérotés relevés par ordre croissant (1,2,3,...n) [Tableau 3.1]. Quant au fichier index [Tableau 3.2], il est composé de trois champs de base où se trouvent les numéros de points de départ et de fin de chacune des sous-sections ainsi que son identificateur. Une série d'autres champs peuvent être ajoutés selon le nombre d'attributs caractérisant cette sous-section. Il est à noter que lors de la numérisation, nous avons constaté qu'il n'y avait pas toujours de correspondance entre le numéro de sous-section sur la carte de fond et le fichier de l'inventaire technique. Dans ce cas, nous avons retenu la numérotation indiquée sur la carte et les attributs correspondants ont pris la valeur "non défini".

L'efficacité de la structure de la base de données a été évaluée par la suite en considérant la facilité d'accès et de gestion de l'information graphique et non graphique permise par le logiciel d'exploitation.

Tableau 3.1 Structure du fichier coordonnées

	champ 1	champ 2
	X	Y
enregistrement 1 ==>	10.00	15.00
	10.20	15.33
	10.80	15.50
	11.10	16.30
	.	.
	.	.
	.	.
enregistrement n ==>	Xn	Yn

Tableau 3.2 Structure du fichier index

champ 1	champ 2	champ 3	champ 4....champ n
-#point	#point	identificateur	attributs
== 1	4	20-18-030-01	
==> enregistrement 1			
		route	
		tronçon	
		section	
		sous-section	

Le tableau 3.3 présente le volume de la base de données utilisé par le logiciel prototype. En extrapolant pour les 49 districts, nous pouvons constater qu'une disquette de 1.2 Mb est suffisante pour emmagasiner l'ensemble.

Tableau 3.3 Volume des données

FICHIER	INDEX	COORDONNÉES	NOMBRE DE POINTS RELEVÉS
Fichier 65E	17611 bytes	15912 bytes	934 points
Fichier 650	9680 bytes	8192 bytes	499 points
Fichier 56	14101 bytes	13650 bytes	548 points

3.2 Structure générale du logiciel

Le logiciel prototype ROUTE a été développé dans le langage évolué Turbo-PASCAL à cause de ses avantages graphiques et de sa simplicité de manipulation [Borland, 1987]. Le logiciel est composé d'un programme principal qui fait appel à sept sous-routines et huit unités de traitement de l'information. Pour comprendre le logiciel prototype, il est mieux de se référer à la figure 3.1 où se trouve le schéma du fonctionnement de chaque sous-routine et des unités.

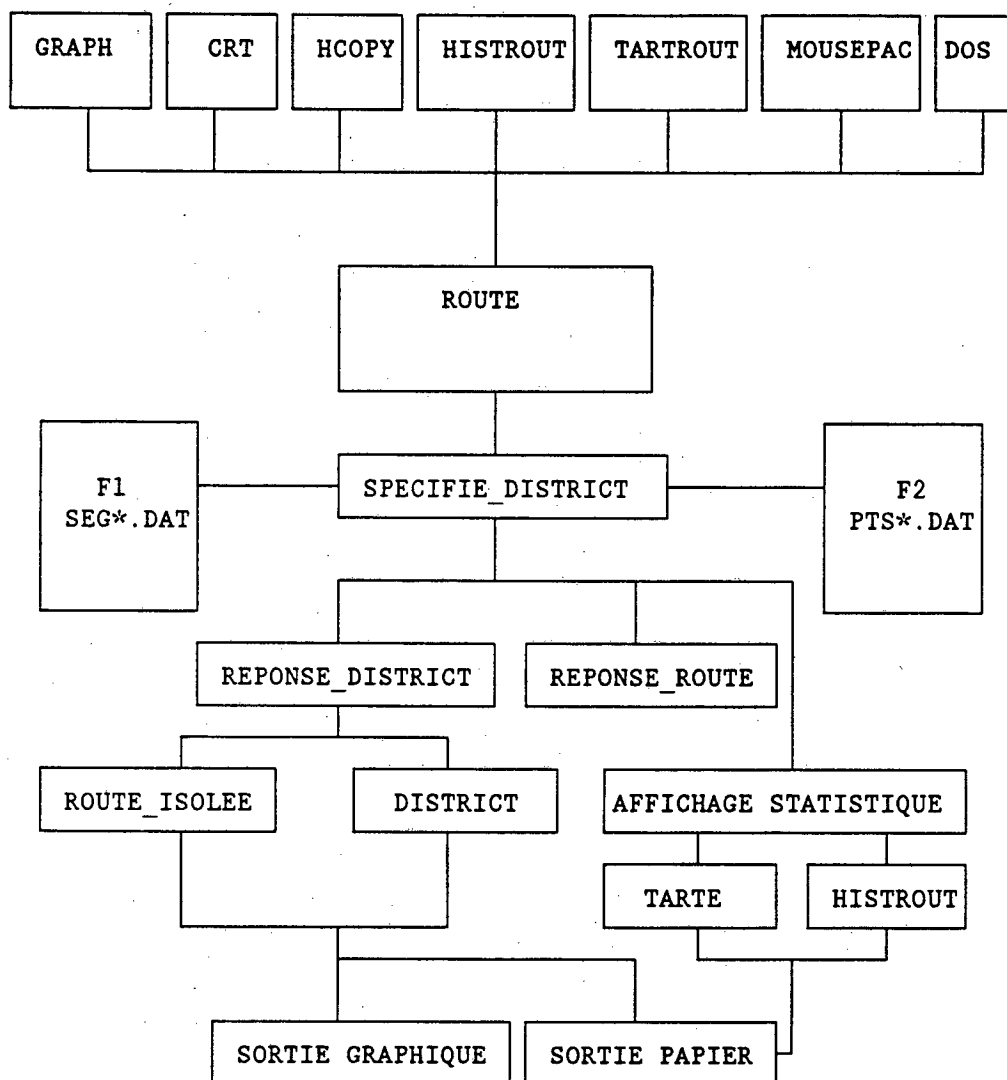


FIGURE 3.1 Organigramme du logiciel ROUTE

En faisant appel au programme prototype ROUTE, l'utilisateur est en mesure d'effectuer des opérations d'interrogation de la base de données, de visualisation cartographique, ainsi que certaines analyses statistiques. Une série de menus affichés à l'écran permet de choisir l'opération désirée par l'utilisateur (voir planche 3.1). Plus particulièrement, ces options sont: interrogation et affichage de la carte d'un district (Réponse_District) avec la possibilité de visualiser une route isolée ou le district au complet; interrogation et affichage d'une route en particulier (Réponse_route); et finalement l'affichage des graphiques sur les statistiques des attributs inclus dans la base de données (unités Histrout et Tartrout).

La sous-routine Spécifie_District permet de faire la lecture directe des deux fichiers (F1 et F2) correspondants aux données de tout un district. Ce logiciel permet d'avoir une réponse très rapide dans le cas des recherches et de manipulation de l'information.

Quant à la visualisation des cartes et des graphiques, le logiciel ROUTE fait appel aux capacités accrues de l'unité GRAPH de Turbo-PASCAL [Weiskamp et al., 1989], comme nous l'expliquerons plus en détail dans les prochaines sections.

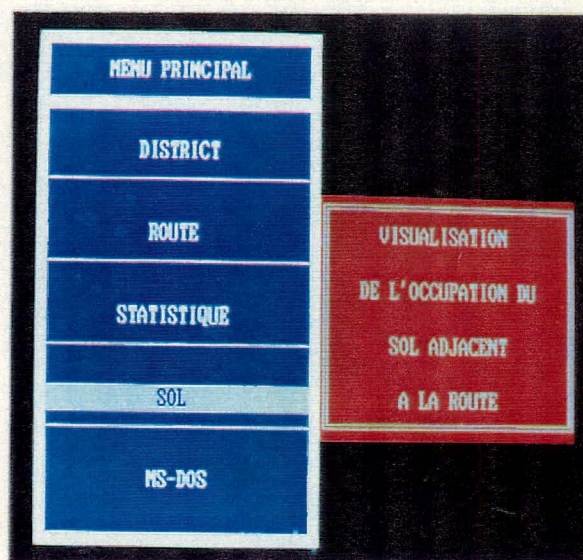
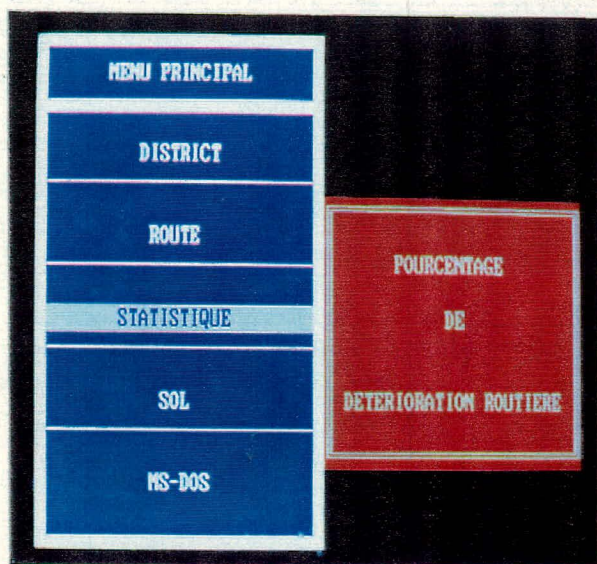
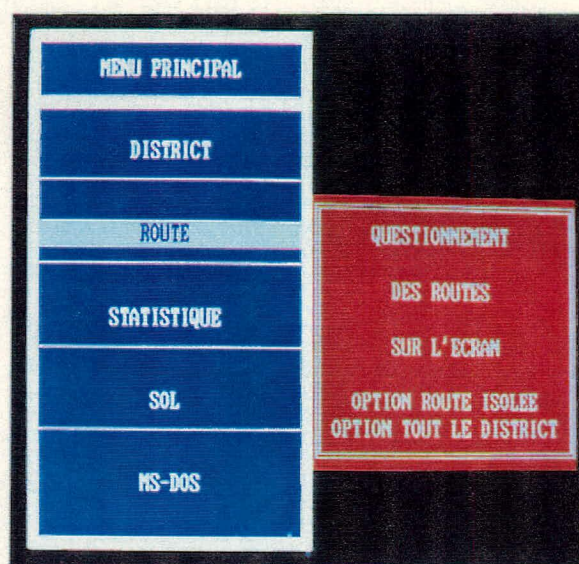
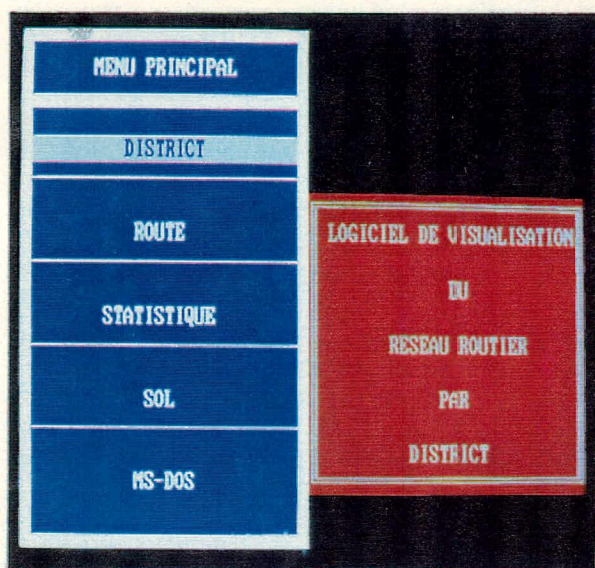


PLANCHE 3.1 Menus du logiciel ROUTE

3.3 La manipulation cartographique

Un des objectifs fondamentaux du système proposé a été la conception d'un logiciel d'interrogation et de visualisation cartographique de l'information. Pour ce faire, il fallait doter le logiciel d'une capacité de transformation vecteur-raster-vecteur [Monmonier, 1981]. En effet, pour pouvoir tracer l'image sur l'écran, nous devons passer d'un système de représentation du réseau en coordonnées X,Y à un système de représentation matricielle (en pixels). Une sous-routine a été développée à cette fin. Celle-ci permet d'une façon quasi instantanée d'effectuer cette transformation tout en ajustant l'échelle de représentation suivant les dimensions de l'espace d'affichage. Nous pouvons tracer sur l'écran vidéo le réseau routier d'un district au complet ou une route isolée en employant des couches de couleurs pour différencier les attributs de chaque sous-section. Les planches 3.2 à 3.4 montrent des exemples de visualisation à partir de notre logiciel. De plus, lors de l'exécution de ce programme, l'utilisateur peut avoir des renseignements sur la quantité de routes numérotées dans le district, les noms des routes, etc. (voir planche 3.5).

Quant à l'interrogation de la base de données par la carte, nous devons tenir compte du fait que l'image du district sur l'écran correspond à une représentation du réseau routier où ses éléments sont définis par des pixels. Pour pouvoir donc, questionner sur place la carte routière, il nous faut transformer les coordonnées des pixels en coordonnées X,Y. Cette opération permet de se repérer dans la base de données à l'aide de la référence spatiale d'un point. Il fallait donc, tenir compte de l'utilisation d'un système de manipulation sur l'écran comme dans les logiciels du type ACAD. L'outil le plus connu est la "souris" qui permet d'extraire les coordonnées écran d'un point de l'image. Dans notre cas, cette opération est effectuée par l'unité "MousePac" [Weiskamp et al., 1989]. Une fois les coordonnées d'un pixel connues, notre logiciel cherche dans la base de données et il est en mesure de sortir les renseignements voulus.

Nous avons aussi développé un algorithme qui permet à l'utilisateur de localiser un point du réseau à partir de sa distance par rapport à une référence prédéterminée (par exemple, le début d'une section). Pour ce faire, l'algorithme fait

déplacer un curseur selon le trajet de la route telle qu'affichée sur l'écran en cumulant la distance parcourue.

Ces deux opérations d'interrogation à partir de l'image cartographique affichée nous ont amenés à analyser la précision de pointage sur l'écran graphique. Le test suivant a été conçu afin d'évaluer cette précision. Un algorithme trace sur l'écran un trajet de route selon une résolution et une longueur totale de la route spécifiée. Ce trajet est choisi d'une façon aléatoire tout en respectant les normes habituelles de la courbure d'une route. Par la suite, il compare le trajet effectivement parcouru sur l'écran avec la distance réelle définie initialement. Le tableau 3.4 montre les différences absolues moyennes entre ces deux distances en fonction de la résolution au sol et la distance initialement spécifiée. Ces résultats nous indiquent que pour les distances jusqu'à 1000 m, toutes les résolutions offrent des résultats équivalents tandis que la résolution de 125 m fournit une précision de pointage plus stable. Ces conclusions sont tirées de trois expériences avec cet algorithme.

Tableau 3.4 Précision de la localisation d'un point du réseau à partir de l'écran graphique

	DISTANCE TERRAIN (m)						
RÉSOLUTION (m)	250	500	1000	1500	2000	2500	3000
25	21	22	71	96	134	131	171
50	34	44	43	79	140	170	211
100	34	52	80	187	103	164	245
125	48	30	30	78	119	109	60

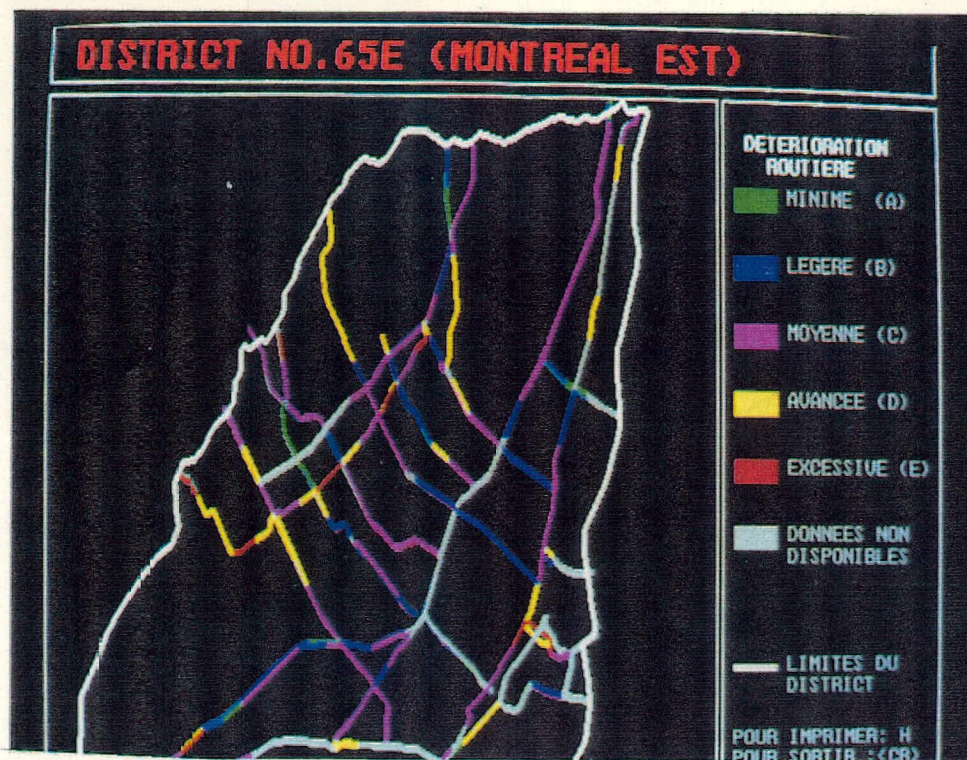


PLANCHE 3.2 Visualisation du district 65

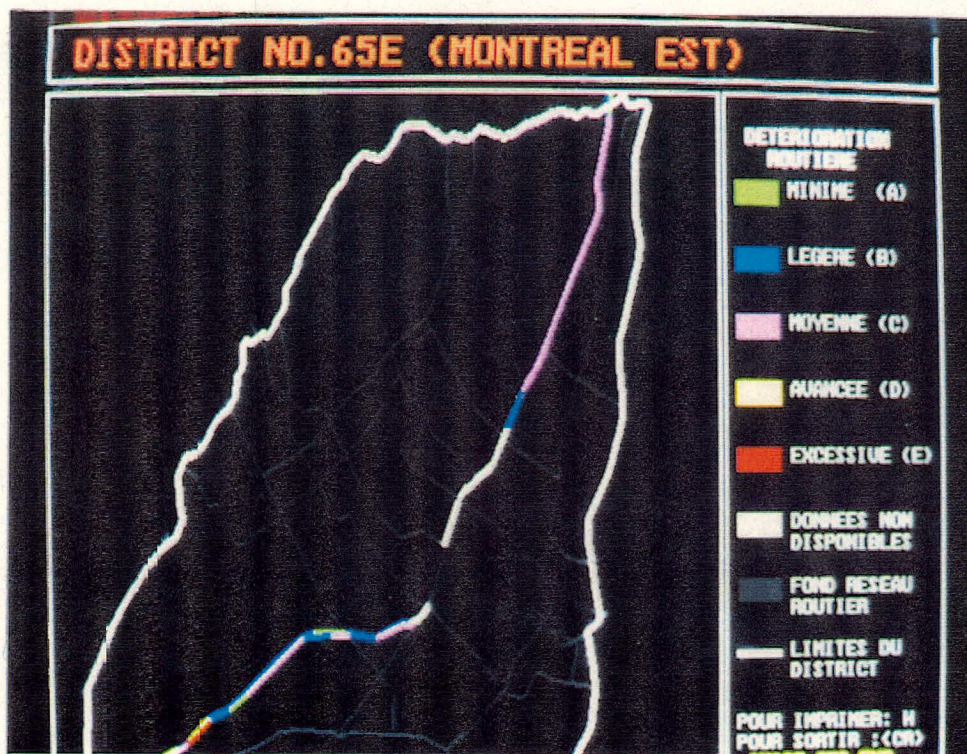


PLANCHE 3.3 Visualisation d'une route isolée

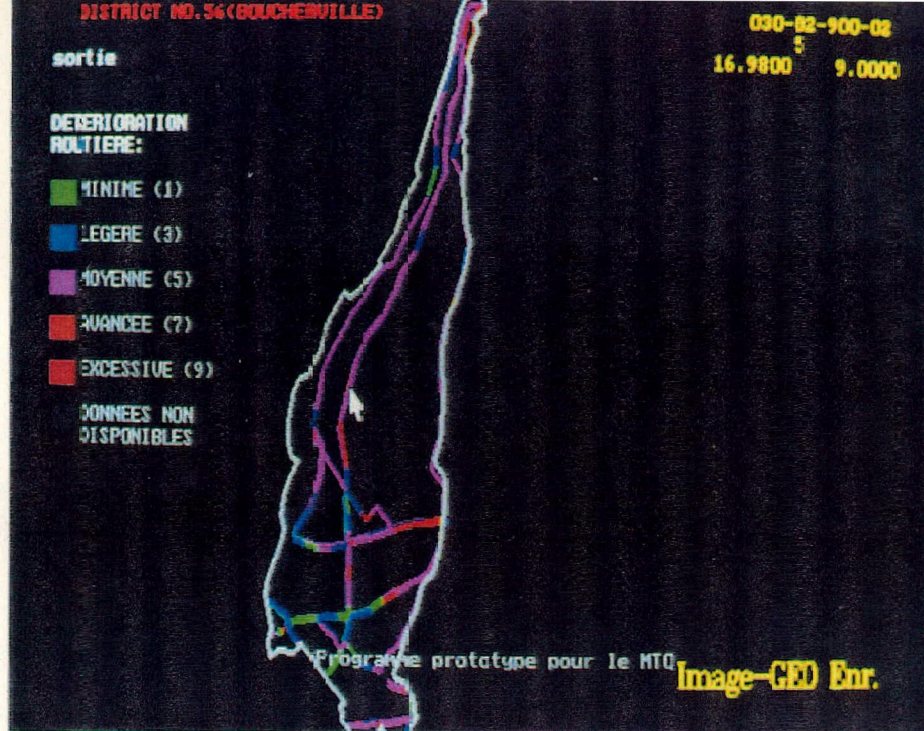


PLANCHE 3.4 Visualisation et interrogation du district 56

```

vouliez-vous visualiser :
un district au complet      (D):
une route au complet       (R):
quitter                    (Q):
d
vouliez-vous une route isolée: RI
ou tout le district: TD
ri
Les numéros des routes sont les suivants:
13,15,19,20,25,40,112,117,125,134,138,148,335,338,440,520,10,21588
donnez le numéro de la route(ex<20>)
donnez <0> pour revenir au menu
-

```

PLANCHE 3.5 Exemple de renseignements sur le district fournis par le logiciel

3.4 Le traitement statistique

La deuxième étape du développement de ce système a été la création d'outils graphiques pour l'analyse statistique de l'information contenue dans l'inventaire routier du MTQ. Jusqu'à présent, nous avons développé les sous-routines nécessaires pour le calcul du pourcentage de sous-sections ayant un type donné de dégradation routière et l'affichage des résultats selon deux types de graphiques statistiques: a) la représentation circulaire (unité Tartrout) et b) l'histogramme ou représentation par barres (unité Histrout). Ce deux types de manipulation et d'affichage de l'information permettent de gérer facilement un volume important de données. Ce traitement est effectué afin d'afficher les statistiques par district. Les planches 3.6 et 3.7 montrent des exemples de graphiques (attribut analysé: détérioration routière).

Il est à noter, que des graphiques de ce type s'avèrent extrêmement utiles pour l'analyse de l'état du réseau et peuvent compléter l'information cartographique. Notre logiciel peut accéder rapidement à l'information et compiler les statistiques nécessaires.

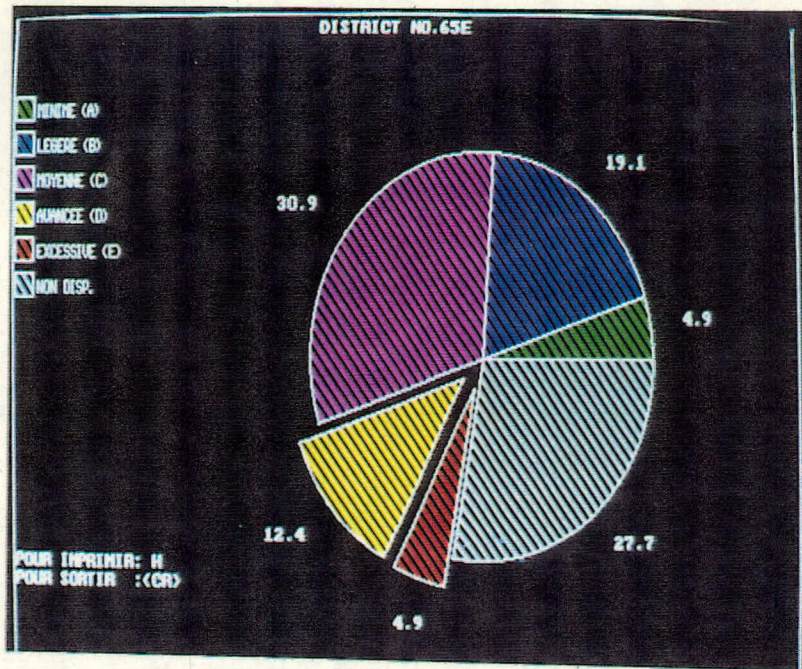


PLANCHE 3.6 Représentation circulaire

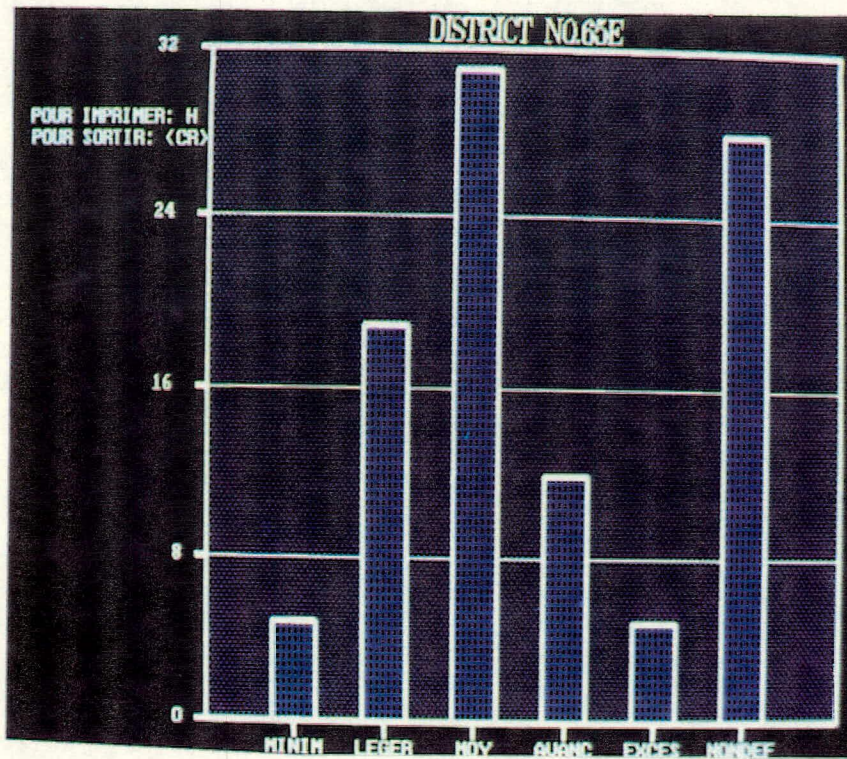


PLANCHE 3.7 Représentation par barres

3.5 Intégration des données d'autres sources

Pour pouvoir étudier les possibilités d'intégration des données provenant d'autres sources, nous avons entrepris la numérisation d'une carte au 1:50 000e représentant les dépôts meubles de la région Boucherville-Tracy [Dion, 1977]. La planche 3.8 illustre la carte numérisée intégrée à l'environnement de notre logiciel. Même si initialement, nous avions prévu de nous restreindre aux images satellites, nous avons jugé que cette expérience nous permettrait de mettre au point un logiciel capable de nous adapter à n'importe quelle source de données cartographiques.

Nous avons choisi ce type de carte, parce que l'information ajoutée est utile pour la gestion et l'entretien du réseau routier. En effet, elle pourrait permettre une meilleure compréhension de la dégradation de la chaussée. Une sous-routine a été conçue permettant de choisir une route et d'extraire l'information de deux côtés de la route sur le type de dépôt meuble. Cette recherche se fait à partir de la carte affichée. Chaque pixel de la route étant connu, l'algorithme établit une aire de recherche en employant le code de Freeman. L'échantillonnage s'effectue à distance fixe selon le trajet de la route à partir de la carte affichée. Comme dans le cas du pointage sur l'écran, nous avons analysé la précision de l'échantillonnage d'une carte composée de polygones transformée en raster pour l'affichage. Dans ce cas, l'opérateur peut spécifier sur la carte la partie de la route qu'il veut étudier. Nous avons utilisé un test rapporté dans Burrough [Burrough, 1986]. Ce test évalue la précision d'une représentation en raster d'une carte thématique. En effet, pour transformer une carte en raster, chaque pixel doit avoir un seul et unique attribut. Ainsi si un pixel au sol tombe "à cheval" entre deux polygones de la carte, un choix doit se faire quant à la classe d'appartenance de ce pixel. Comme le montre le graphique suivant (figure 3.2), les pixels 2, 3, 5 et 8 sont des pixels "mixtes". La position du centre de chaque cellule de la grille spécifie la classe d'appartenance du pixel en format raster. Le test évalue donc la probabilité de se trouver dans de telles situations en fonction des dimensions du pixel au sol. Pour une même résolution, cette probabilité est fonction de la complexité de la carte. Ce test nous indique ainsi la probabilité d'erreur de notre échantillonnage sur une carte affichée sur l'écran vidéo. Nous avons effectué ce test en considérant la carte de dépôts

meubles numérisée. Ainsi, les résultats suivants ont été obtenus: a) pour une grille raster d'une résolution de 1000 m au sol, nous pouvons espérer une erreur globale de l'échantillonnage de l'ordre de 13 % et b) pour une grille raster d'une résolution de 500 m au sol, l'erreur globale peut diminuer à 9 %. En d'autres termes, avec une résolution de 500 m, nous avons neuf chances sur cent de nous tromper quant à l'attribut d'un pixel de la carte affichée à la même résolution sur l'écran dû à l'approximation de la carte initiale par une image raster. Cette précision diminue en fonction de la complexité et du nombre de polygones de la carte.

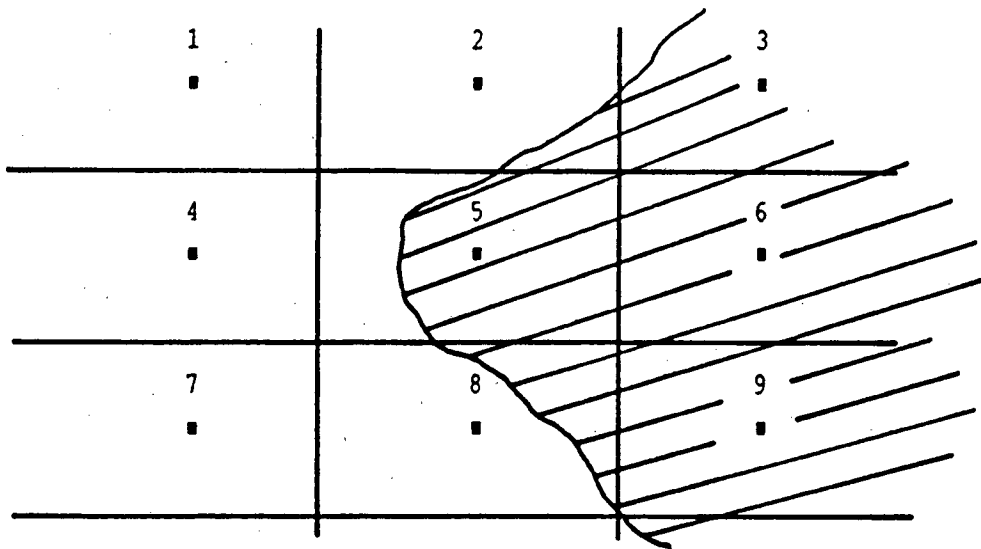


FIGURE 3.2 Représentation raster d'une polygone

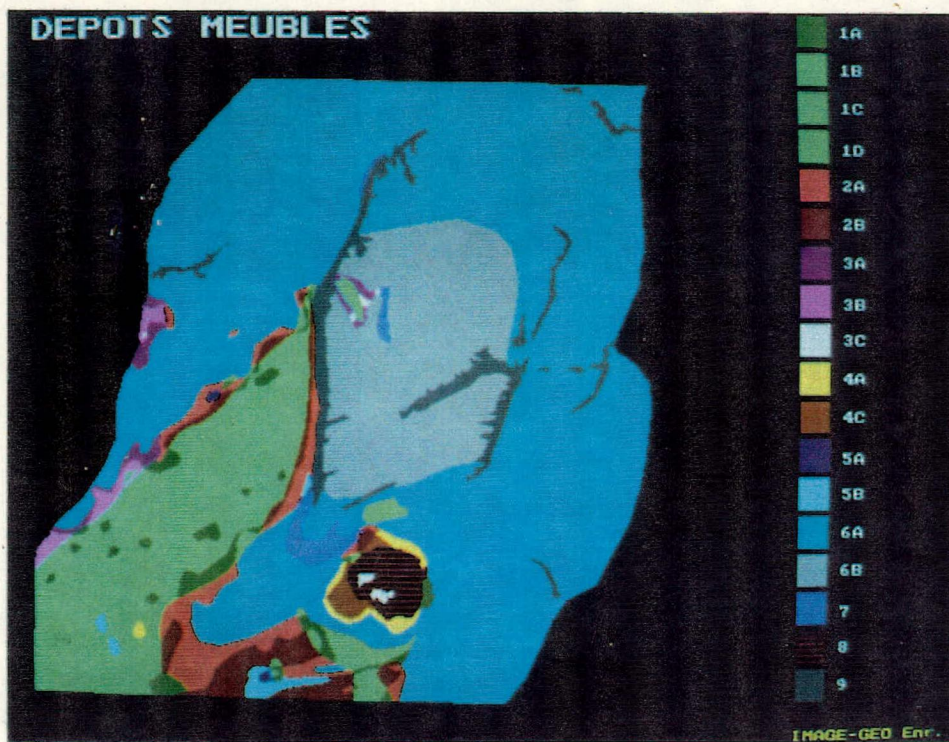


PLANCHE 3.7 a) Carte affichée représentant les dépôts meubles (district 56)

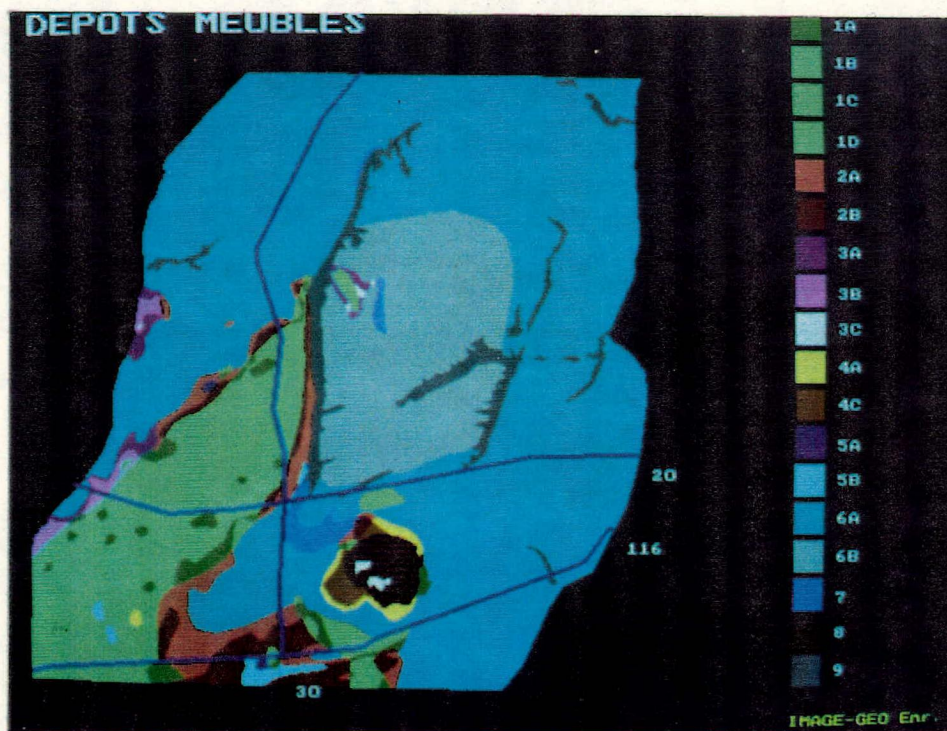


PLANCHE 3.7 b) Carte affichée représentant les dépôts meubles avec les routes superposées

PARTIE II: POTENTIEL DES IMAGES SATELLITES

1. LES IMAGES SATELLITES

Les images provenant des satellites d'observation de la terre sont actuellement reconnues comme un des moyens d'acquisition de données par excellence dans plusieurs domaines d'application tels que la géologie, la foresterie, l'océanographie, etc. Avec l'avènement de la nouvelle génération d'images provenant du satellite SPOT (Satellite Probatoire d'Observation de la Terre), avec une résolution spatiale beaucoup plus fine au sol qu'auparavant (10 m en mode panchromatique et 20 m en mode multibande), des études à plusieurs niveaux, allant du régional au local, sont actuellement envisageables. A titre d'exemple en cartographie de base, plusieurs études démontrent que nous pouvons atteindre les précisions cartographiques requises pour compiler des cartes à l'échelle 1:50 000e (voir par exemple Doyle, 1984).

Dans le contexte de notre projet de recherche, nous avons voulu explorer le potentiel de ces images pour extraire, à l'aide de l'ordinateur, des informations appropriées pour la gestion et l'entretien du réseau routier. Trois types d'information potentiellement extractibles des images SPOT nous sont apparues pertinentes à cette fin:

- l'information sur la localisation du territoire donné, surtout pour la mise à jour des cartes numériques du réseau routier;
- l'information sur le type de revêtement de la chaussée et sur son état, d'un intérêt immédiat pour la gestion et l'entretien du réseau routier: état d'avancement des travaux de réfection de la chaussée ou bilan des travaux effectués dans une période donnée, etc.;
- l'information sur l'environnement immédiat d'une route pouvant servir à des études concernant l'état et les conditions du drainage, l'estimation du volume de trafic, etc.

Les chapitres suivants décrivent les résultats de nos travaux dans ces trois domaines.

1.1 Images satellites et lieu d'étude

Dans notre étude, nous avons utilisé une image SPOT en mode multibande ainsi qu'une image SPOT en mode panchromatique acquises au mois d'août 1987 et couvrant l'île de Montréal et la Rive-Sud. Il est à noter que l'image SPOT multibande a trois bandes spectrales (vert - rouge - proche infrarouge) tandis que l'image panchromatique couvre la majeure partie de la bande visible du spectre électromagnétique. Le tableau 1.1 résume les caractéristiques des images SPOT. Nos analyses ont été limitées à la partie sud du district de Boucherville correspondant au feuillet topographique 31H11 (1:50 000e) [voir planches 4.1 et 4.2]. Ces images ont été traitées à l'aide du système IMAVISION sur micro-ordinateur disponible à l'Université de Montréal. Afin de faciliter l'analyse ainsi que l'intégration des informations extraites dans notre base de données, nous avons corrigé géométriquement ces images selon la projection UTM en les mettant à une résolution de 12,5 m au sol.

Notre méthodologie d'analyse, telle que mentionnée précédemment, comprenait les étapes suivantes:

- extraction automatique du réseau routier;
- extraction et analyse de signatures spectrales des routes;
- extraction des informations sur l'environnement de la route;
- intégration des informations extraites dans notre base de données.

Tableau 1.1 - Caractéristiques du satellite SPOT-1 et de ses images

Date de lancement	1986
Altitude de vol	820 km
Nom du capteur	HRV (deux capteurs identiques)
Nombre de canaux	4
Intervalle de longueurs d'onde par canal (m)	vert: 0,50 - 0,59 rouge: 0,61 - 0,68 infrarouge: 0,79 - 0,89 panchromatique: 0,51 - 0,73
Champ total d'observation par capteur	60 km
Résolution spatiale	20 m / 10 m (panchro)

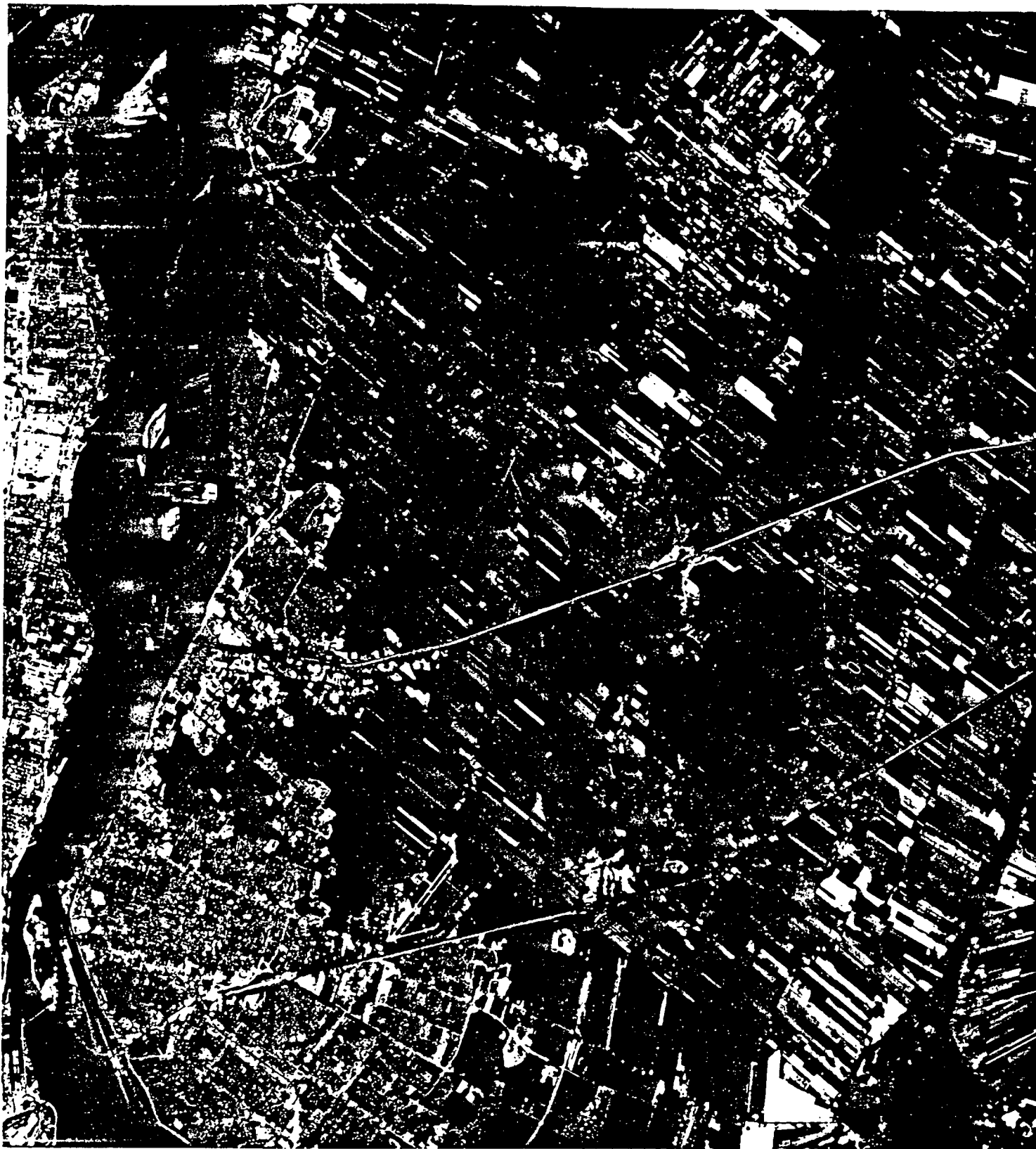


PLANCHE 4.1 Image panchromatique (région de Boucherville)

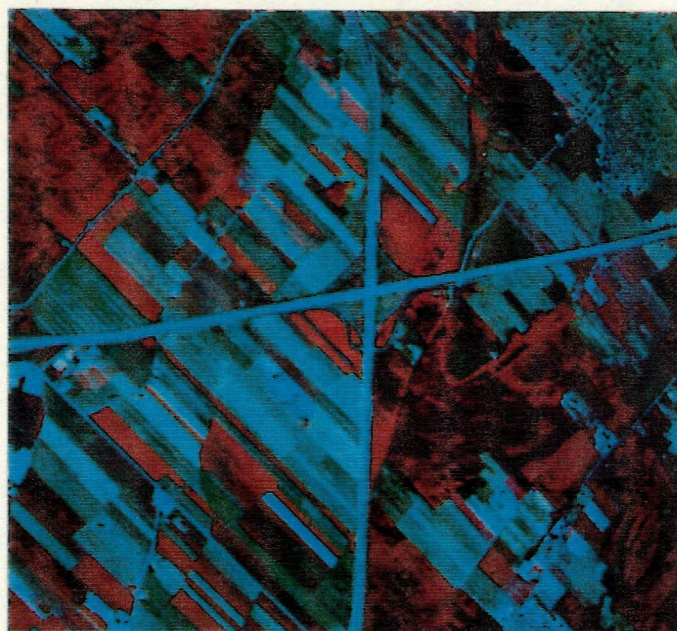


PLANCHE 4.2 Image fausse couleur (filtre rouge: bande infrarouge; filtre vert: bande rouge; filtre bleu: bande verte)

1.2 Possibilités d'extraction automatique du réseau routier

L'objectif de la première étape de notre analyse était d'examiner les possibilités d'extraire d'une façon automatique le réseau routier tel que représenté sur les images satellites. Bien que visuellement, grâce à nos capacités de perception et de raisonnement, la majeure partie du réseau puisse être identifiée aisément sur l'image panchromatique et relativement bien sur les bandes individuelles ou une représentation en fausses couleurs de l'image multibande, l'extraction automatique du réseau routier présente beaucoup de difficultés. En effet, les signatures spectrales des pixels de route présentent de similarités avec celles d'autres objets. La planche 4.3 montre comment les objets composant le paysage sont "vus" par le satellite SPOT dans les différentes bandes spectrales selon leurs caractéristiques et comment, grâce aux valeurs numériques associées à chaque pixel, la présence ainsi que l'abondance de l'un ou de l'autre de ces objets peuvent être reconnues par l'ordinateur.

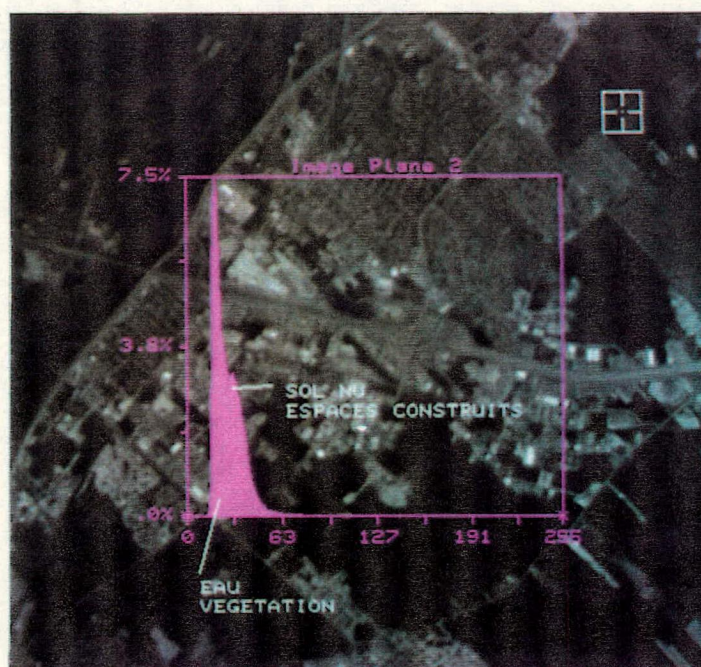
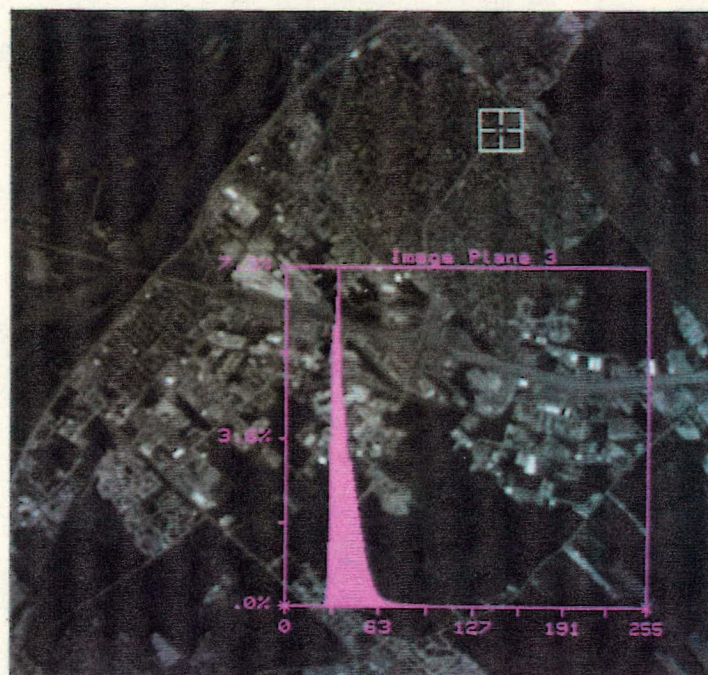


PLANCHE 4.3 Caractéristiques spectrales de l'imagerie SPOT: a) bande verte, b) bande rouge, c) bande infrarouge et d) image panchromatique

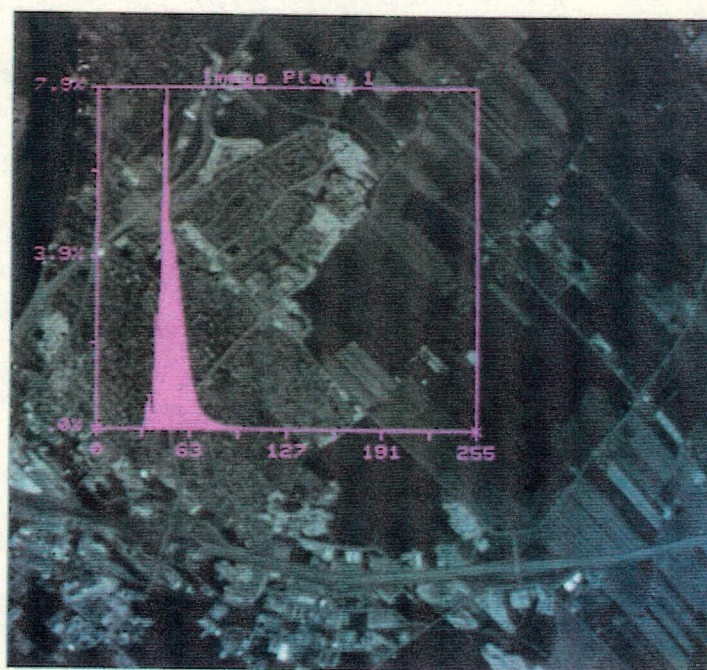
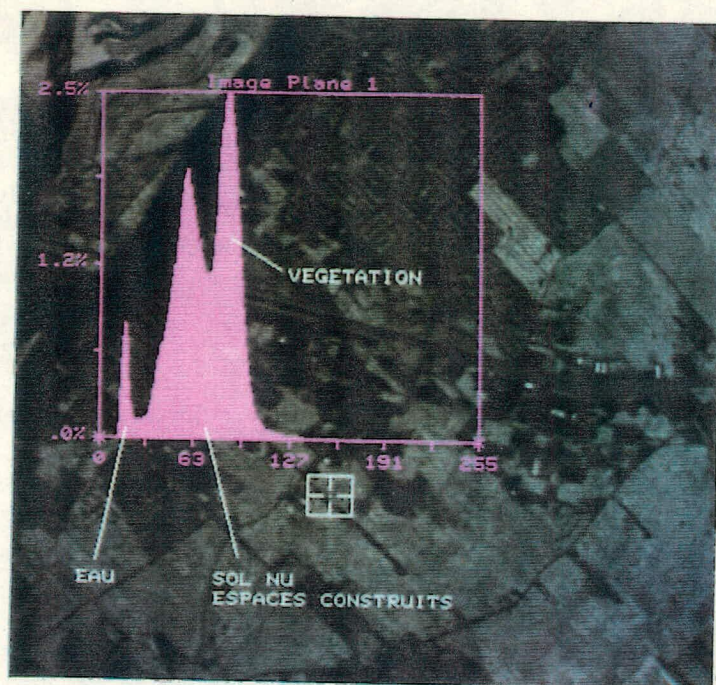


PLANCHE 4.3: suite

Comme nous pouvons le constater par ces histogrammes, les matériaux de revêtement de la chaussée ont une tendance marquée à se retrouver dans le même intervalle de valeurs numériques que d'autres objets tels que les bâtiments, les terrains agricoles en jachère, etc., ceci, peu importe la bande spectrale analysée. Ainsi, il devient évident que l'extraction automatique des éléments du réseau routier est difficile juste par des méthodes de traitement d'images connues (classification multispectrale, détection d'arêtes, etc.). Nos analyses préliminaires nous l'ont confirmé. Ces mêmes analyses nous ont également indiqué que les signatures spectrales des routes ne sont pas stables. En effet, comme on le verra plus en détail dans les chapitres suivants, ces signatures varient en fonction du type de revêtement de la chaussée et de son état d'usure. Pour les routes de faible largeur vis-à-vis les dimensions du pixel des images SPOT, un autre facteur influence aussi la réponse spectrale de la route, le type de son environnement immédiat. Cette variabilité accroît davantage les difficultés de la reconnaissance automatique du réseau routier. Pour illustrer ces points, nous présentons la planche 4.4. La planche 4.4a montre une partie de l'autoroute 20 près du Parc industriel Edison, entre les sorties 92 et 95 (bande spectrale rouge). Nous pouvons constater que la réponse des pixels de l'autoroute dans cette bande spectrale n'est pas homogène et que chaque intervalle de valeurs caractéristiques de ces pixels (représenté en rouge et en bleu respectivement) est aussi celui d'une multitude d'autres objets. L'intervalle de valeurs en rouge correspond à des objets avec une forte brillance tels que le béton de ciment, tandis que celui en bleu correspond à des objets avec une teinte plus foncée tels que l'asphalte. La planche 4.4b présente un agrandissement de l'image panchromatique où l'on peut voir avec une grande netteté les limites de ces deux classes d'objets à l'intérieur de l'autoroute 20. Finalement, la planche 4.4c montre la teinte visuellement distincte sur le terrain de ces deux types de revêtements, de la chaussée.

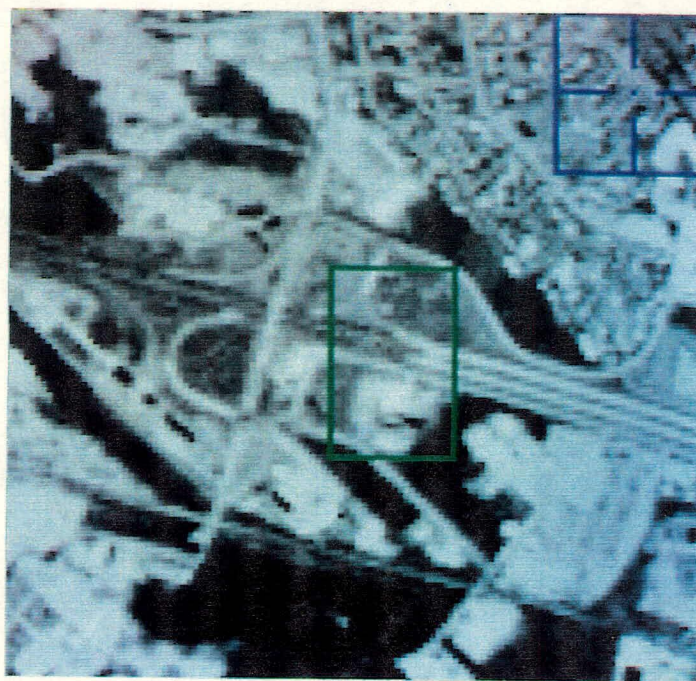
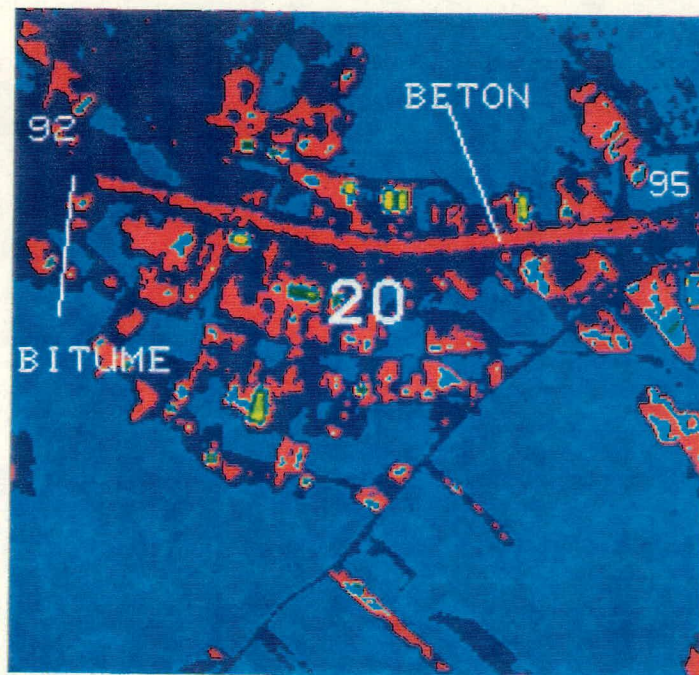


PLANCHE 4.4

a) Similarités des signatures spectrales des routes avec celles d'autres objets et potentiel de différentiation des types de revêtements de la chaussée (bande rouge), b) Différentiation des types de revêtements (agrandissement panchromatique); le curseur représente 350 x 350 m au sol, et c) Comparaison in situ (district 56)



PLANCHE 4.4: suite

Ces résultats nous indiquent clairement que les images SPOT ont un potentiel certain pour nous aider à extraire des renseignements pertinents sur le réseau routier. Cependant il nous faut tout d'abord trouver une nouvelle méthode pour isoler d'une façon automatique le réseau routier du reste des objets visibles sur ces images. Une solution valable à ce problème est d'intégrer aux images satellites l'information cartographique existante sur le réseau routier. De cette façon, nous pouvons indiquer aisément à l'ordinateur à quel endroit sur les images se trouvent des pixels de route. Dans notre cas, nous avons introduit les données cartographiques existantes sur le réseau routier du district 56. Ainsi, la carte du MTQ au 1:125 000e numérisée dans la première phase de ce projet a été transformée en raster (pixel 12,5 m.) et superposée sur les images. Ceci dans le but, principalement, d'expérimenter des techniques de transfert de données extraites des images satellites par sous-section à notre base de données établie également dans la première phase de ce projet. Nous avons aussi numérisé l'ensemble du réseau indiqué sur le feuillet topographique (31H11) afin qu'on puisse analyser les signatures spectrales des routes numérotées et non numérotées. La planche 4.5 montre la partie de l'image SPOT analysée où nous avons superposé: 1) la carte topographique numérisée et 2) la carte du MTQ (projection UTM). Dans le deuxième cas, chaque couleur représente une route numérotée différente: en rouge la route 20, en vert la route 30, en bleu la route 132 et en jaune la route 229.

Dans un contexte de mise à jour de la base de données, l'information cartographique intégrée peut aussi constituer la base de comparaison avec l'image satellite afin d'identifier des nouveaux segments de route construits depuis l'ancien inventaire (voir planche 4.6) [Maillard et Cavayas, 1989].

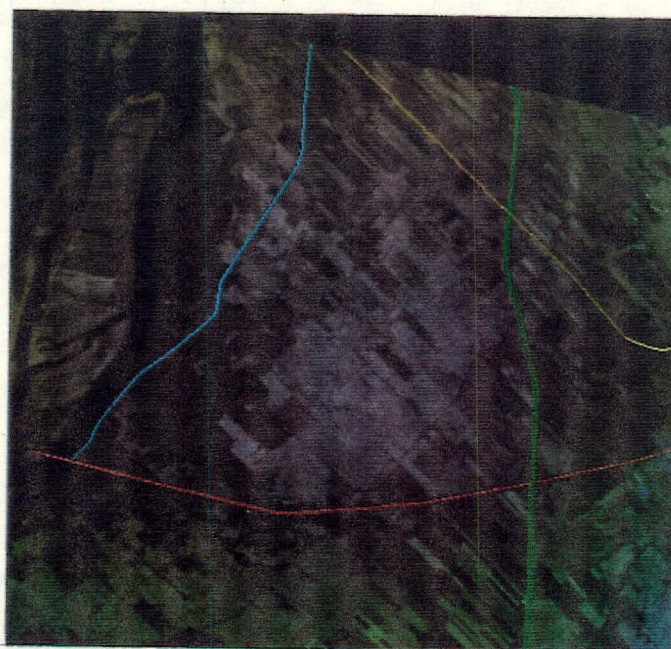
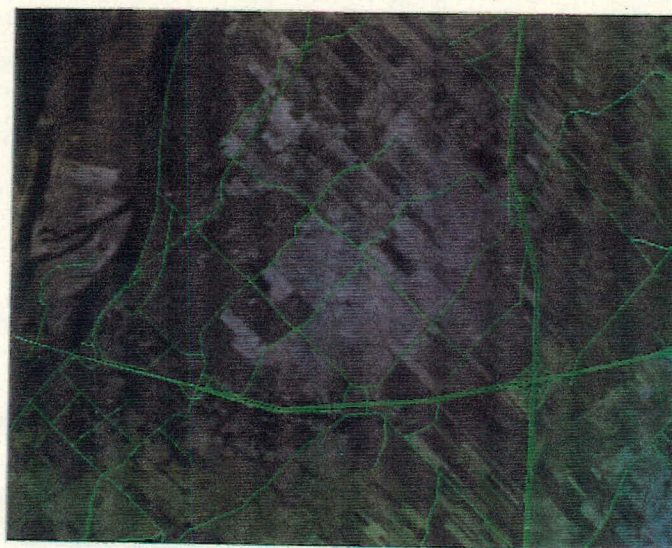


PLANCHE 4.5 Intégration des données cartographiques existantes aux images satellites: a) carte topographique numérisée (tout le réseau) et b) carte du MTQ numérisée (réseau numéroté). La partie de l'image SPOT présentée (bande infrarouge) couvre approximativement 13 x 13 km

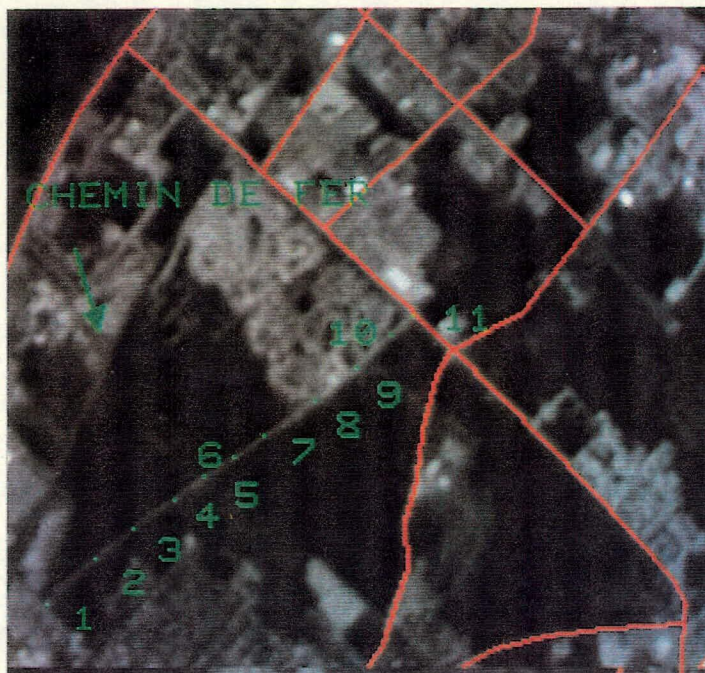


PLANCHE 4.6 Exemple d'un nouveau segment de route non indiqué sur la carte topographique. L'information cartographique existante est indiquée en rouge. Les valeurs de pixels numérotés de 1 à 11 ont été utilisées pour étudier la variation de la réponse spectrale

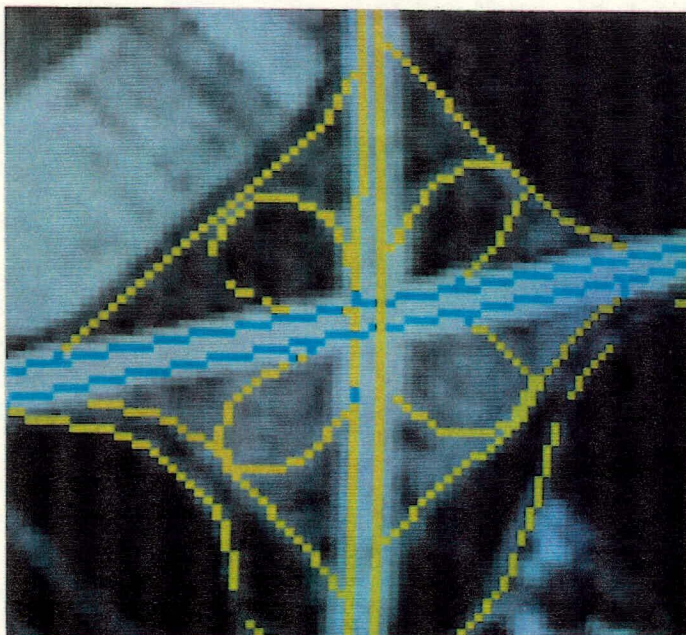


PLANCHE 4.7 Agrandissement et résultats du seuillage de l'histogramme de la bande rouge. Intersection des autoroutes 20 et 30 (le bitume en jaune et le béton de ciment en bleu)

1.3 Analyse des signatures spectrales

Une fois les pixels de routes identifiés sur les images à l'aide de notre méthodologie, leurs signatures spectrales ont été extraites. Pour pouvoir étudier les effets de la largeur de la route sur l'identification exacte du type de revêtement de la chaussée, nous avons regroupé les routes selon deux catégories: 1) routes numérotées et 2) autres routes. Ceci a été facilité grâce à l'information cartographique intégrée aux images satellites.

1.3.1 Réseau numéroté

Les figures 1.1 à 1.3 présentent les histogrammes de valeurs par bande spectrale de trois sous-sections représentatives (autoroute 30, autoroute 20). Les deux premières sont recouvertes de bitume et de béton de ciment respectivement. La distinction entre ces deux types de revêtements est très nette dans les bandes du visible (vert et rouge) ainsi que dans l'image panchromatique (voir planche 4.4). Par contre, une confusion existe dans le proche infrarouge. Le troisième exemple est tiré d'une sous-section de l'autoroute 20 où il y a un changement du type de revêtement (de bitume en béton de ciment) tel que montré à la planche 4.4. Les histogrammes de la figure 1.3 illustrent d'une façon éloquent que les images satellites SPOT peuvent être considérées comme des outils appropriés pour nous aider à reconnaître ces deux types de revêtements d'une façon très précise dans le cas des routes numérotées. Les bandes rouge, verte et panchromatique sont les outils les plus adéquats pour ce type d'analyse. Ainsi par un simple seuillage de l'histogramme dans la bande rouge, nous pouvons différencier clairement ces deux types de revêtements. La planche 4.7 montre un agrandissement de l'intersection des autoroutes 20 et 30 où nous pouvons constater les résultats de ce seuillage: en jaune, le bitume et en bleu, le béton de ciment.

L'analyse de tout le réseau numéroté nous a démontré que seule l'autoroute 20 a un revêtement en béton. Les autres routes numérotées sont en asphalte. Ces dernières avaient en général une signature spectrale stable. Cependant, certaines parties de ces routes avaient tendance à s'approcher spectralement aux pixels de l'autoroute 20 en béton. Ceci pourrait s'expliquer par l'usure de la chaussée.

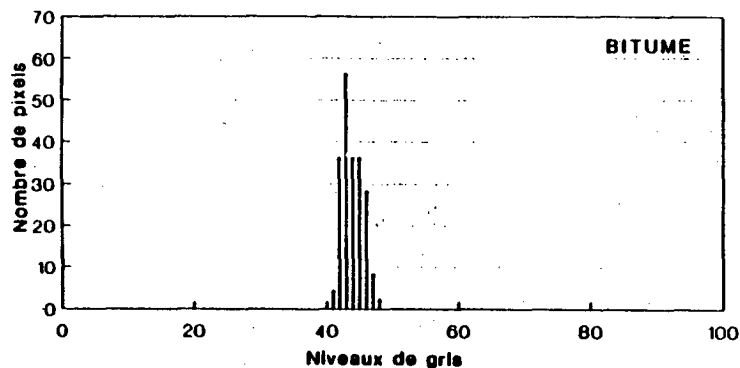
En effet, le vieillissement du revêtement fait apparaître l'agrégat qui a une brillance comparable à celle du ciment. A l'inverse, la chaussée de l'autoroute 20 avec un rapiéçage en asphalte important avait une signature spectrale proche de celle d'une route en bitume. Pour illustrer ces observations, nous nous référons à la planche 4.8. La planche 4.8a montre une partie d'une photographie aérienne prise un an avant celle de l'image SPOT couvrant la région d'intersection des autoroutes 20 et 30. Sur l'autoroute 20, nous pouvons voir une partie importante pavée d'asphalte, tandis que sur l'autoroute 30, nous pouvons observer des variations de teinte correspondant à des âges différents de revêtement de la chaussée. La planche 4.8b montre la même région après extraction des pixels de route de l'image SPOT à l'aide de l'information cartographique et après seuillage de l'histogramme de la bande rouge. Nous pouvons constater qu'une série de pixels adjacents sur l'autoroute 20 (en blanc) a une valeur différente de celle du béton (en rouge) et correspond à l'endroit où il y a un rapiéçage indiqué sur la planche 4.8a. Les autres pixels isolés en blanc le long de cette autoroute sont la conséquence de la résolution spatiale originale des images multispectrales. En effet, un pixel de 20 m peut être centré plus vers l'accotement en asphalte de l'autoroute ou vers le terre-plein et ainsi avoir une réponse qui dévie de celle du béton. Ce phénomène est minimisé lorsqu'on analyse la bande panchromatique. La planche 4.8c montre que les deux voies doubles de l'autoroute 20 ont une réponse spectrale très homogène et peuvent être identifiées comme des objets indépendants. Ceci n'est pas possible avec les images multispectrales où les deux voies doubles sont très difficilement séparables sans l'aide de l'information cartographique.

À l'inverse de l'autoroute 20, l'autoroute 30 présente clairement deux sous-catégories de valeurs de bitume telles qu'illustrées à la planche 4.8d. En effet, la voie vers la gauche est dominée par des pixels dont les valeurs approchent celles du béton, tandis que la voie vers la droite est dominée par des pixels dont la valeur est beaucoup plus basse que celle du béton. Ceci est dû probablement à une réfection de la voie de droite proche de la date de prise de l'image SPOT. La situation telle qu'illustrée par la photo aérienne de 1986 ne correspond pas tout à fait à celle indiquée par l'image SPOT de 1987. Ce qui démontre qu'en utilisant des images satellites acquises à des intervalles réguliers, nous pouvons envisager d'autres types d'inventaires utiles pour la gestion du réseau,

par exemple, connaître l'état de l'avancement des travaux d'entretien ou faire le bilan des travaux effectués durant une année.

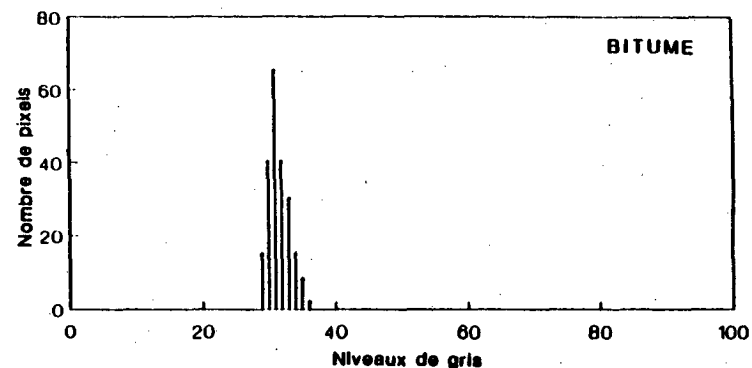
En guise de conclusion, nous pouvons dire qu'une image satellite multispectrale avec une résolution de l'ordre de dix mètres constituerait un outil tout à fait convenable pour la reconnaissance du type de revêtement des routes numérotées, en plus de nous informer quant à l'usure de la chaussée et la présence de rapiéçage important en asphalte sur une chaussée en béton. Même avec la résolution actuelle de 20 mètres, nous pouvons distinguer clairement ces phénomènes sans cependant pouvoir les délimiter dans tous les cas d'une façon précise. L'intégration du canal panchromatique, étant donné sa résolution spatiale, peut constituer la solution d'échange actuellement pour pouvoir exploiter pleinement le potentiel des images multispectrales. Pour tirer cependant des conclusions définitives sur la résolution spatiale et sur les bandes spectrales optimales, des analyses de simulation à partir d'images aéroportées seraient nécessaires.

REPONSES SPECTRALES ROUTE 30-03-030-03 (04) SPOT-1



NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 202
 moyenne : 43.9 médiane : 44
 mode : 43 écart-type : 1.5
 Type de revêtement: bitume

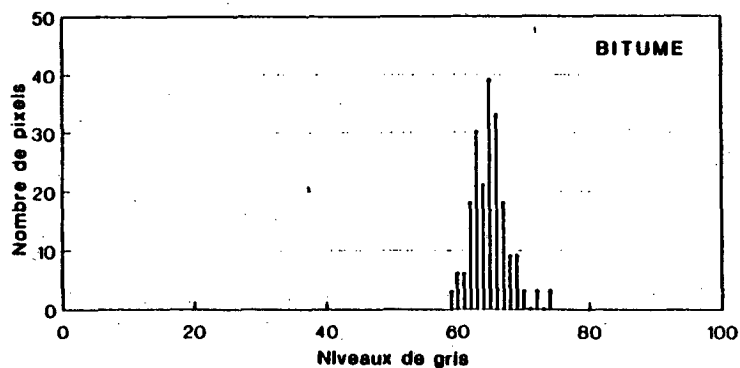
REPONSES SPECTRALES ROUTE 30-03-030-03 (04) SPOT-2



NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 202
 moyenne : 31.6 médiane : 31
 mode : 31 écart-type : 1.4
 Type de revêtement: bitume

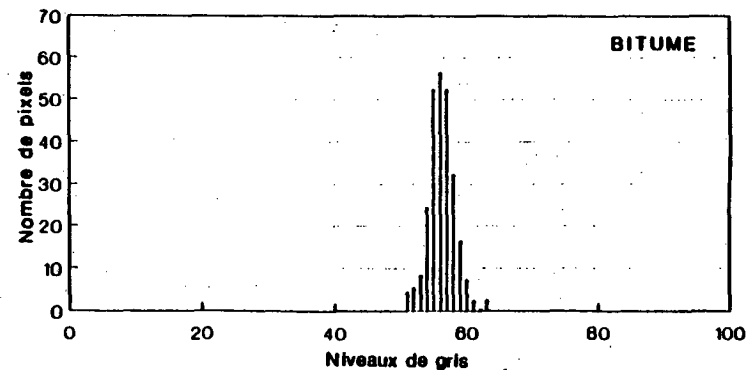
FIGURE 1.1

REPONSES SPECTRALES ROUTE 30-03-030-03 (04) SPOT-3



NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 202
 moyenne : 64.8 médiane : 65
 mode : 65 écart-type : 2.5
 Type de revêtement : bitume

REPONSES SPECTRALES ROUTE 30-03-030-03 (04) SPOT-PANCHROMATIQUE

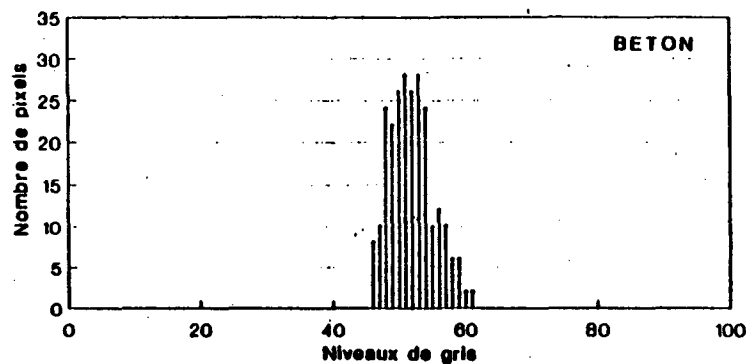


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 202
 moyenne : 58.1 médiane : 58
 mode : 58 écart-type : 1.8
 Type de revêtement: bitume

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-05 (06)

SPOT-1

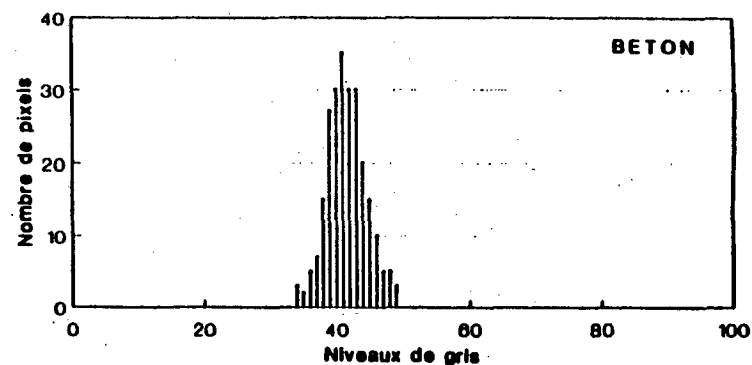


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 242
moyenne : 51.7 médiane : 52
mode : 51-53 écart-type : 3.4
Type de revêtement: béton

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-05 (06)

SPOT-2

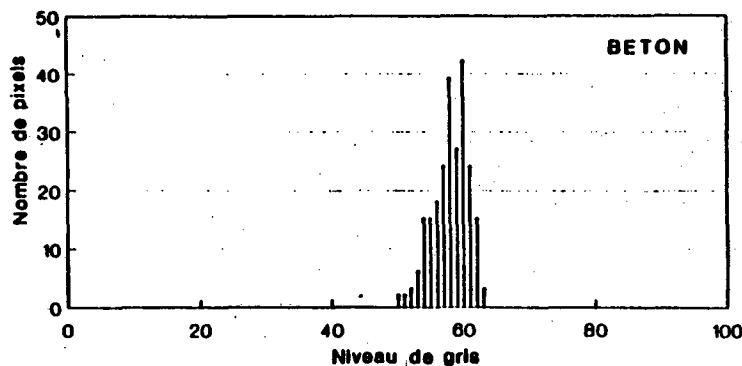


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 242
moyenne : 41.6 médiane : 41
mode : 41 écart-type : 2.9
Type de revêtement: béton

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-05 (06)

SPOT-3

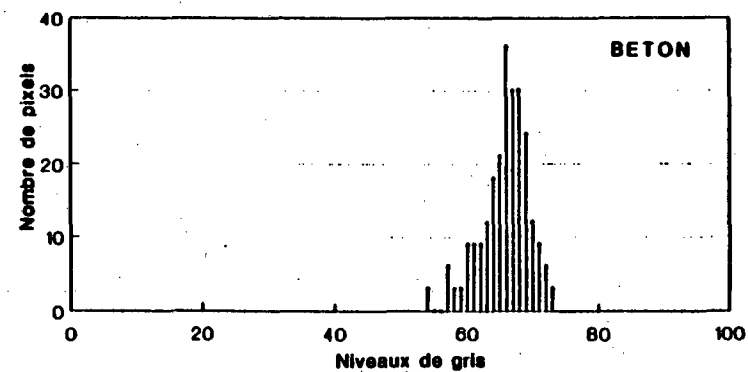


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 242
moyenne : 57.8 médiane : 58
mode : 60 écart-type : 3.2
Type de revêtement: béton

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-05 (06)

SPOT-PANCHROMATIQUE



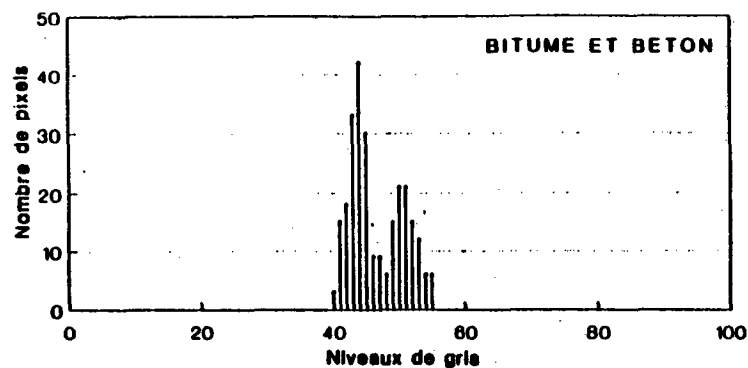
NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 235
moyenne : 66.0 médiane : 66
mode : 66 écart-type : 3.2
Type de revêtement: béton

FIGURE 1.2

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-01 (02)

SPOT-1

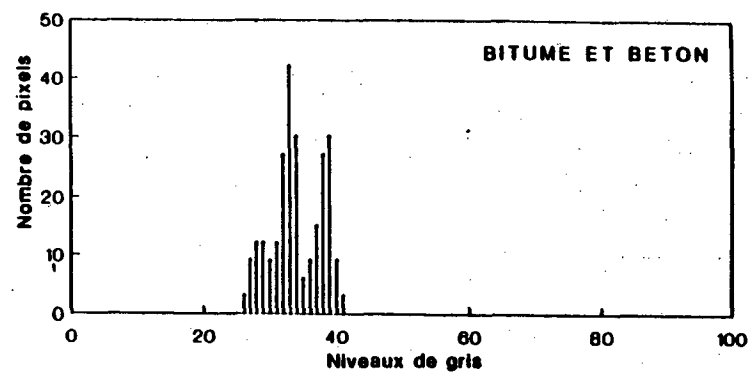


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 252
moyenne : 46.3 médiane : 45
mode : 44 écart-type : 3.8
Type de revêtement: béton et bitume

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-01 (02)

SPOT-2

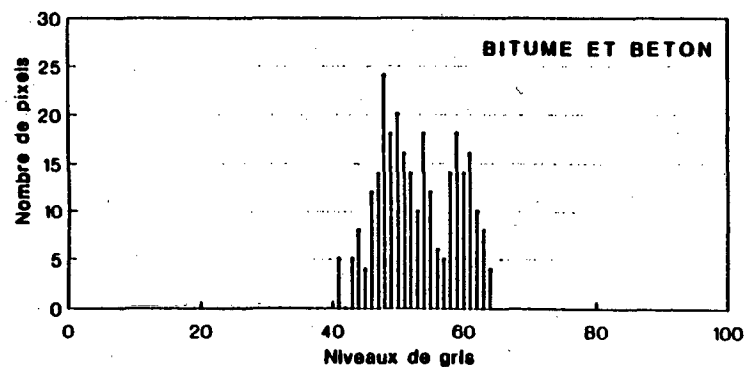


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 252
moyenne : 34.3 médiane : 34
mode : 33 écart-type : 3.6
Type de revêtement: bitume et béton

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-01 (02)

SPOT-3

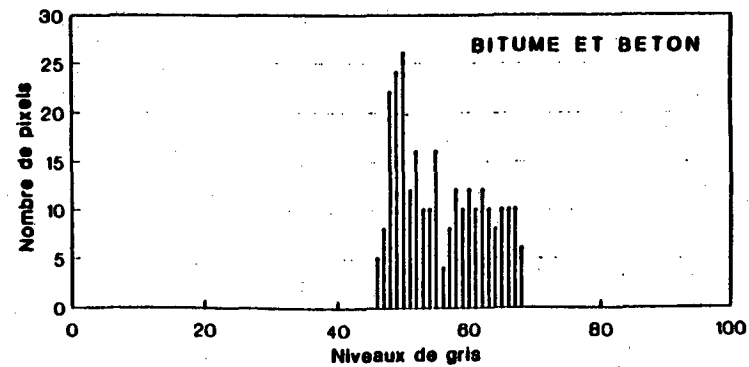


NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 252
moyenne : 53.3 médiane : 52
mode : 48 écart-type : 6.6
Type de revêtement: bitume et béton

REPONSES SPECTRALES

ROUTE 20-03-050-01 (02)

SPOT-PANCHROMATIQUE



NOMBRE TOTAL DE PIXELS : 256
moyenne : 55.8 médiane : 55
mode : 50 écart-type : 6.4
Type de revêtement: bitume et béton

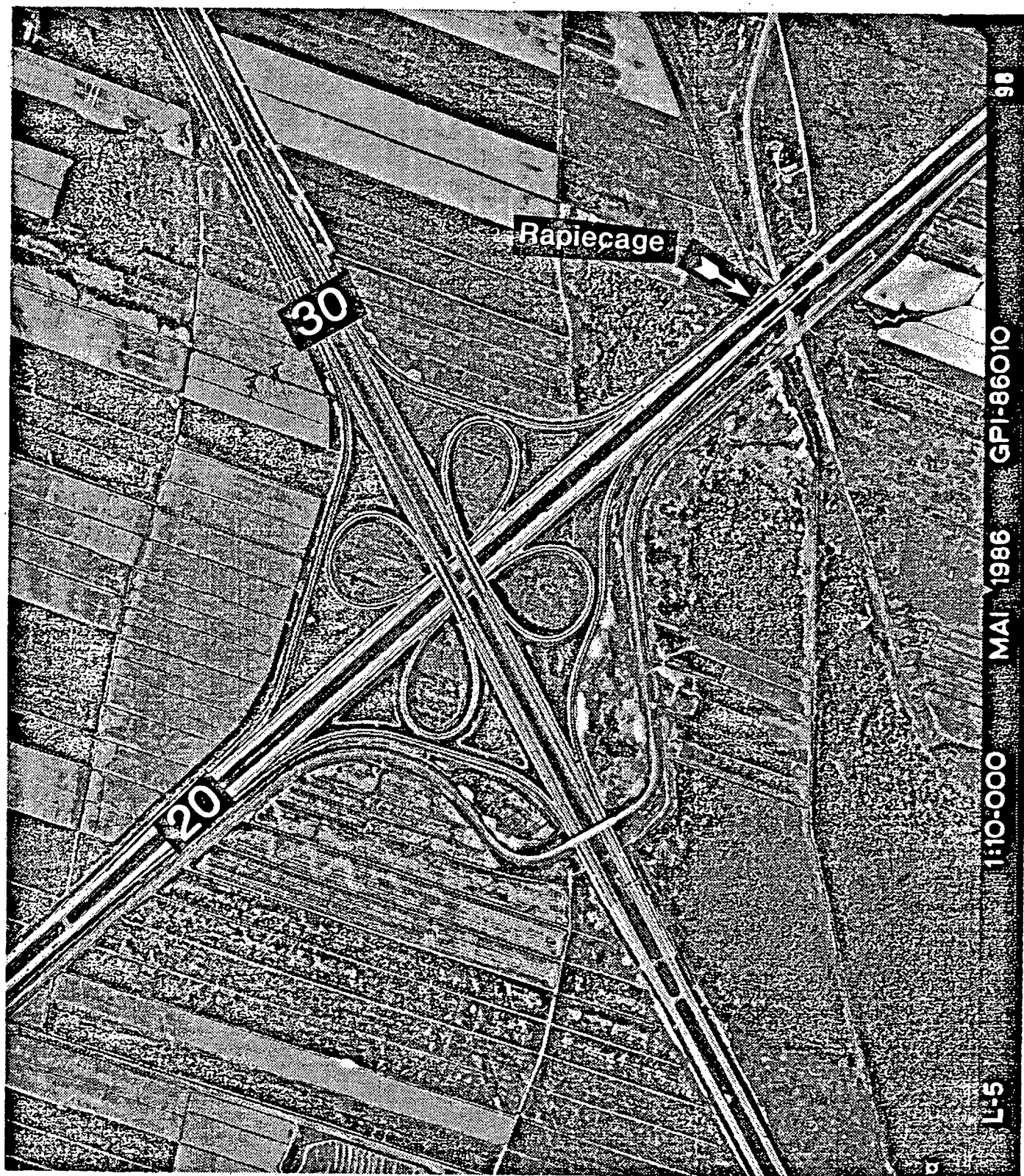


PLANCHE 4.8 a) photo aérienne, b) anomalies de la réponse des pixels de l'autoroute 20 dues au rapiéçage, c) distinction de deux voies doubles de l'autoroute 20 dans le canal panchromatique et d) variations des valeurs de pixels de l'autoroute 30 dues à l'âge du revêtement

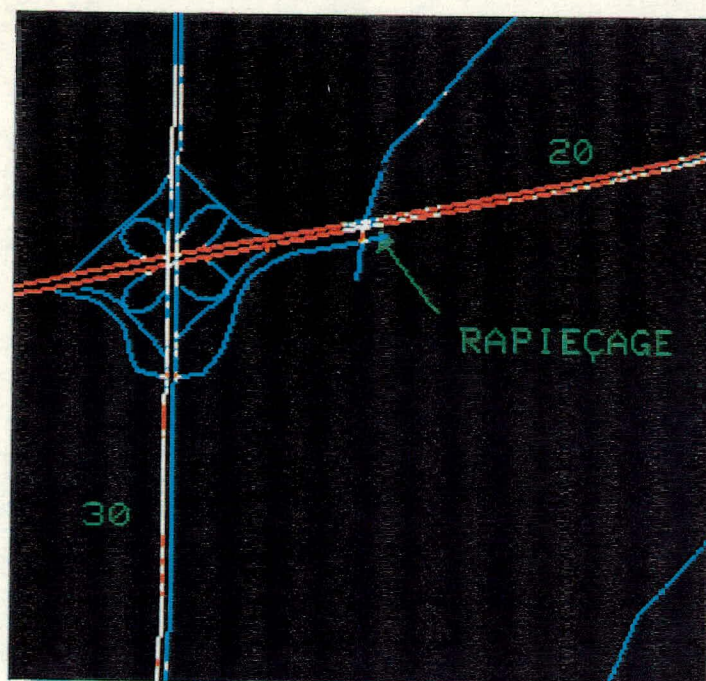


PLANCHE 4.8 suite

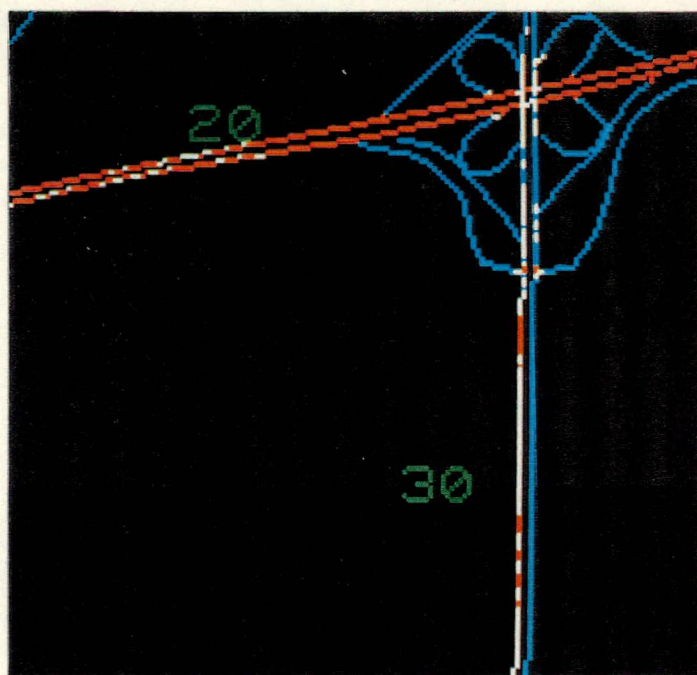


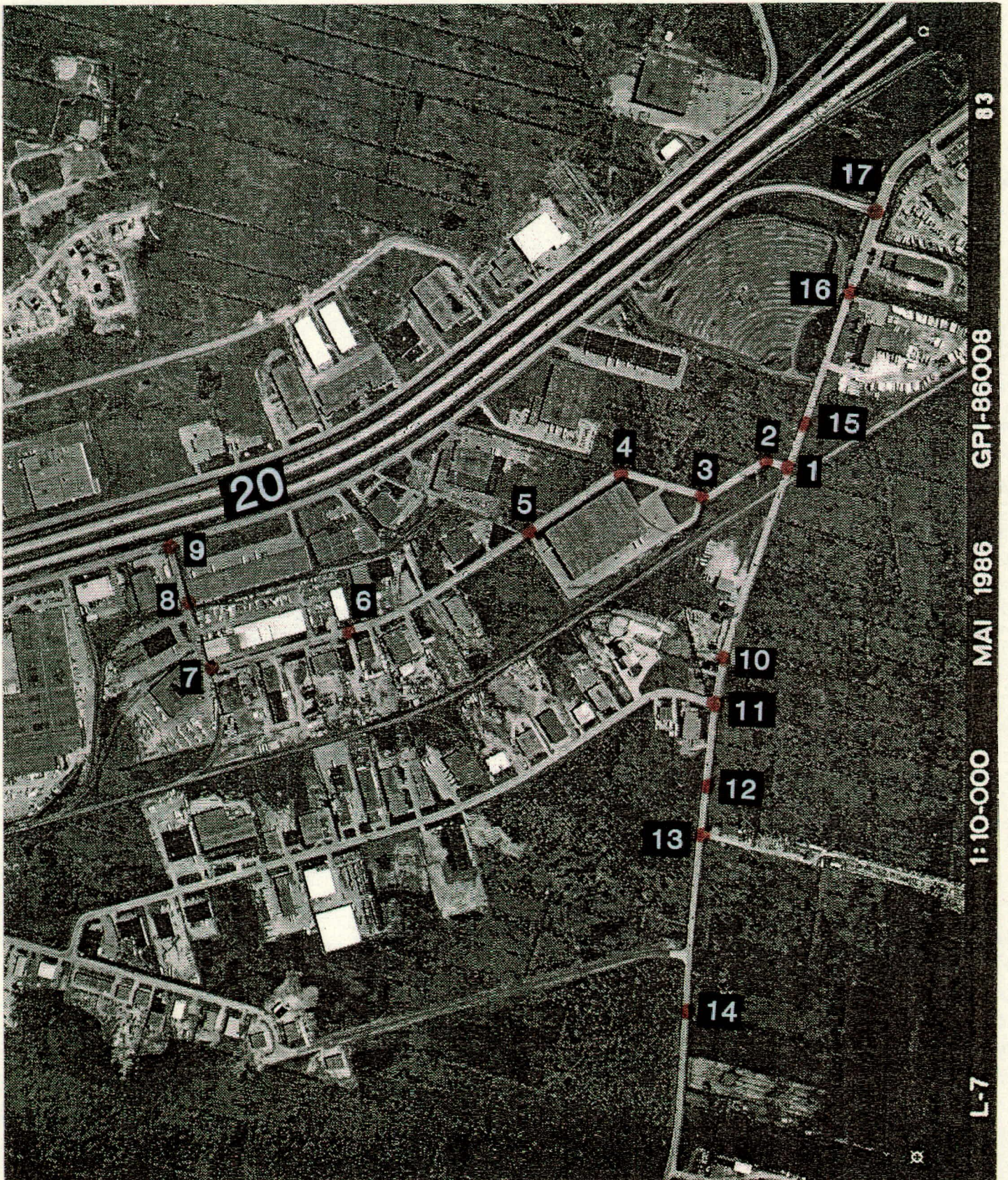
Planche 4.8: suite

1.3.2 Réseau non numéroté

Les analyses des signatures spectrales du reste du réseau routier, telles que mentionnées précédemment, concernaient l'évaluation des possibilités de discrimination des routes selon le type de revêtement (asphalte, gravier, terre) et en fonction de la largeur de la route. Les paragraphes suivants illustrent par une série d'exemples les principaux résultats de nos analyses.

Exemple 1

La planche 4.9 montre une photographie aérienne incluant une partie de l'auto-route 20 près de la sortie 95 (en haut et à droite). Les valeurs des pixels de l'image SPOT multispectrale correspondant aux points numérotés (de 1 à 17) indiqués sur cette photo ont été extraites. Les routes analysées sont asphaltées. Le tableau suivant montre les valeurs échantillonnées.



83
GPI-86008
MAI 1986
1:10-000
L-7

PLANCHE 4.9

Tableau 1.2

Point No	Bandes SPOT		
	Verte	Rouge	Infrarouge
1	50	36	51
2	39	28	68
3	47	35	58
4	41	32	68
5	45	33	64
6	55	43	55
7	55	44	54
8	47	33	49
9	47	34	52
10	51	37	65
11	50	34	52
12	44	31	65
13	48	38	63
14	39	29	72
15	47	32	66
16	51	37	54
17	43	34	50

L'analyse du tableau 1.2 nous permet de constater que lorsque le pixel échantillonné est entouré des pixels de route (points d'intersections de routes: 1, 9, 11, 17) les valeurs spectrales dans les trois bandes sont proches des valeurs correspondantes aux routes asphaltées plus larges (voir par exemple figure 1.1). Par contre, si la route traverse un milieu où la végétation domine, les valeurs de pixels baissent dans le visible tandis qu'elles augmentent dans l'infrarouge (par exemple, points: 2, 12, 14, 15). Ceci peut s'expliquer par la signature spectrale de la végétation (voir planche 4.3) dans les trois bandes SPOT. A l'inverse, la présence des bâtiments ou des terrains à nu provoque une hausse de valeurs dans le visible et fait baisser quelque peu les valeurs dans l'infrarouge (par exemple, points 6, 7, 8, 16).

Exemple 2

Le tableau 1.3 montre les valeurs d'une série de pixels de routes asphaltées de plus de deux voies traversant le milieu urbain de Boucherville.

Tableau 1.3

Bandes spectrales

Verte	Rouge	Infrarouge
53	37	59
50	35	49
50	33	57
47	35	57
47	34	57
45	35	56
50	36	60
48	34	56
50	36	60
48	34	56
50	36	54
47	35	64
50	38	55

Comme nous pouvons le constater par ce tableau, la signature spectrale des routes asphaltées de cette largeur demeure très stable et dans la gamme de valeurs correspondant aux autoroutes asphaltées.

Exemple 3

La planche 4.6 indique une série de pixels le long d'un nouveau segment de route non indiqué sur la carte topographique, dont les valeurs ont été prélevées. Le tableau suivant montre la signature spectrale de ces pixels.

Bandes SPOT

Point no	Verte	Rouge	Infrarouge
1	51	34	50
2	44	24	57
3	40	23	58
4	46	27	61
5	44	29	67
6	42	25	64
7	38	23	63
8	51	35	62
9	51	38	62
10	47	32	61
11	49	36	58

Ici aussi, la présence de la végétation (avec une teinte foncée sur la planche 4.6) comme dans l'exemple 1 fait chuter les valeurs dans le visible et les fait

augmenter quelque peu dans l'infrarouge. La question qu'on se pose est si ces signatures spectrales peuvent nous permettre d'identifier le type de revêtement, une fois la position du nouveau segment identifié. Pour répondre à cette question, il nous faut analyser la réponse des routes avec un autre type de revêtement. A titre d'exemple, le tableau suivant présente les valeurs échantillonnées le long d'une route en gravier traversant un milieu agricole.

Tableau 1.5

Verte	Bandes SPOT	
	Rouge	Infrarouge
43	32	67
38	26	81
39	26	78
40	27	82
41	26	80
36	23	84
44	29	68
39	23	76
38	26	80
41	27	85
42	27	74
43	32	67
40	27	79

En comparant les valeurs dans les quatre tableaux précédents, nous pouvons constater qu'il est difficile par les bandes dans le visible de se prononcer sur le type de revêtement d'un nouveau segment de route ou pour pouvoir dire si une route en gravier indiquée par l'ancien inventaire a été asphaltée (l'inverse est plutôt...rare). Par contre, en examinant les valeurs dans l'infrarouge des routes asphaltées, nous pouvons observer une tendance marquée, à savoir, que les valeurs de pixels de route indépendamment de la présence ou non de la végétation varient dans un intervalle dont la limite supérieure est de l'ordre de 70. Par contre, les routes en gravier ont tendance à varier dans un intervalle dont la limite inférieure est de l'ordre de 70. Ces exemples nous indiquent qu'une fois l'image du réseau routier non numéroté identifiée, il est possible d'envisager la reconnaissance du type de revêtement pour les routes même à une largeur de beaucoup inférieure à la résolution spatiale des images SPOT multispectrales (couvertes en asphalte ou en gravier). Les chemins en terre comme nous avons constaté n'ont pas un contraste assez net avec leur environnement pour qu'on puisse suivre avec exactitude leur tracé sur les images, même visuellement. Le

même phénomène a été également observable pour les routes avec un autre type de revêtement mais dans une mesure beaucoup moindre. Comme dans le cas des routes numérotées, la résolution spatiale du canal panchromatique facilite beaucoup la tâche de détection des segments de route mais son pouvoir de discrimination du type de revêtement est inférieur à celui de l'image multispectrale. Le mariage des caractéristiques de deux types d'images SPOT est donc nécessaire actuellement pour pouvoir envisager des applications dans le domaine de la gestion du réseau routier non numéroté. Pour pouvoir envisager la reconnaissance d'autres caractéristiques des routes d'une largeur beaucoup plus inférieure que la dimension du pixel, des images satellites avec une résolution entre 5 et 10 m nous semblent être nécessaires.

Suivant ces résultats pour le réseau numéroté et non numéroté, nous pouvons proposer la stratégie suivante pour la reconnaissance de différents types de matériaux:

- 1) superposition de la carte du réseau routier sur les images satellites, de préférence sur le canal panchromatique [voir aussi Maillard et Cavayas, 1989];
- 2) extraction de signatures spectrales par segment de route et par bande;
- 3) seuillage de l'histogramme de bandes visibles et masquage des pixels en béton;
- 4) pour les pixels non masqués, seuillage de l'histogramme dans l'infrarouge et différenciation des pixels en asphalte de ceux en terre ou en gravier.

En guise de conclusion, nous pouvons dire que le potentiel des images SPOT actuellement disponibles, mésestimé jusqu'à présent dans ce type d'application à cause de leur résolution spatiale, est grand dans ce domaine. Nous pouvons aussi penser qu'une méthodologie, telle que proposée auparavant, appliquée d'une façon fréquente, peut nous amener à établir des règles d'interprétation numérique concernant l'âge du revêtement pour les routes d'une largeur adéquate vis-à-vis la résolution des images actuelles [Maillard et Cavayas, 1989].

1.4. AUTRES TRAITEMENTS

En nous servant des capacités du système IMAVISION, nous avons pu effectuer différents essais de classification multispectrale des images SPOT. Tous les algorithmes de classification appliqués nous ont permis de constater que l'analyse de ce type n'offre pas des grandes possibilités quant à une catégorisation détaillée du territoire. Trois classes générales ont été déterminées avec une précision adéquate: l'eau, les zones urbanisées et les terrains à nu ainsi que les zones fortement végétalisées. Malgré cela, ces résultats peuvent être utilisés soit pour raffiner les analyses des signatures spectrales de routes ainsi que pour alimenter notre base de données sur les routes pour des études concernant le volume de trafic, le drainage, etc. Pour ce faire, nous avons développé l'interface nécessaire pour pouvoir transférer les résultats de classification d'images dans l'environnement de notre système.

La même procédure expliquée dans la partie I concernant l'interrogation de la carte de dépôts meubles, peut être aussi envisagée pour le questionnement de l'image classifiée.

CONCLUSIONS

Ce projet, effectué par IMAGE-GEO ENR., a permis de développer un système prototype de gestion du réseau routier très accessible et polyvalent. Les recherches faites dans le cadre de ce projet nous ont démontré qu'avec des outils informatiques très peu coûteux, il est possible de développer un logiciel puissant pour des fins de gestion et de planification routière. Le travail effectué nous a permis d'obtenir un logiciel convivial avec une base de données graphique et non graphique "transparente" à l'utilisateur et très peu volumineuse.

Plusieurs algorithmes originaux ont été mis au point par notre firme. Ils sont à la fine pointe de la recherche et du développement dans le domaine de la géomatique et de la télédétection. En voici des exemples: l'algorithme pour l'interrogation de la base de données via la carte, l'algorithme de localisation sur la carte affichée, l'algorithme d'interrogation de la base de données concernant l'environnement de la route, la méthodologie pour extraire l'information sur le revêtement de la chaussée à l'aide des images satellites, etc. Nous avons aussi conçu des tests de précision cartographique originaux qui permettent à l'utilisateur de bien définir ses besoins et ses outils de travail. Particulièrement, ces tests nous ont indiqué que l'échelle de 1:50 000e constituerait un bon compromis entre la précision cartographique et le volume de données pour bien représenter le réseau routier provincial. De plus, cette échelle est couramment employée au Canada pour d'autres types de données et constitue la base d'un découpage rigoureux et flexible du territoire québécois selon le système national de topographie. Dans le cas de la télédétection, nous avons aussi pour la première fois, à notre connaissance, évalué d'une façon originale leur potentiel dans le domaine de la gestion et de l'entretien du réseau routier. Nous avons pu ainsi prouver que même à partir des altitudes orbitales et grâce aux caractéristiques des images de la nouvelle génération, qui s'amélioreront davantage dans un avenir très rapproché, le planificateur et le gestionnaire du réseau routier possèdent un outil très bon marché, plein de potentiel et polyvalent pour mener à bien ses tâches.

BIBLIOGRAPHIE

- Borland [1987] Turbo-PASCAL 4.0, IBM version, Borland International.
- Burrough P. A. [1986] Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press, Oxford.
- Cavayas F. et Chaput J. [1989] Projet de cartographie numérique relatif à 59 cartes de districts du ministère des Transports du Québec, Rapport U. de Montréal-MTQ.
- Cooke D. [1987] Map Storage on CD-ROM, Byte, 12(8):129-138.
- Dion D.J. [1977] Levé géotechnique de la région de Boucherville-Tracy, ministère Énergie et Ressources Québec, DPV-499, 23 pages.
- Doyle E. J. [1984] Surveying and Mapping with Space Data, ITC Journal, 4, 314-321.
- Greenlee D. D. [1987] Raster and Vector Processing for Scanned Linework, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 53, No 10, pp. 1383-1387.
- Maillard P. et Cavayas F. [1989] Automatic map-guided extraction of roads from SPOT imagery for cartographic database updating, Int. J. Remote sensing, Vol. 10, No 11, 1775-1787.
- Monmonier M. [1981] Computer-assisted cartography, Department of Geography, Syracuse University.
- Weiskamp K., Heiny L. et Shammass N. [1989] Power graphics using Turbo PASCAL, Wiley and Sons Inc.



Gouvernement du Québec
**Ministère
des Transports**

