

**ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. ING.**

**PAR
PIERRE MARC GENDRON, ING.**

**ÉLÉMENTS ESSENTIELS À L'IMPLANTATION
D'UN SYSTÈME DE GESTION DES CHAUSSÉES**

MONTRÉAL/JUIN 2001

© droits réservés de Pierre Marc Gendron ing. 2001

**CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :**

- **Michèle St-Jacques, directrice de mémoire**
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure
- **Edmond T. Miresco, professeur**
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure
- **Paul Gervais, professeur et président du jury**
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

**IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET UN PUBLIC
LE 01 JUIN 2001
À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE**

ÉLÉMENTS ESSENTIELS À L'IMPLANTATION D'UN SYSTÈME DE GESTION DES CHAUSSÉES

Pierre Marc Gendron, ing.

(Sommaire)

Avec une valeur de remplacement de plus de 50 milliards de dollars et une longueur de 90 000 km, le réseau routier municipal représente une importante partie du patrimoine collectif québécois. Nul doute que la dégradation des infrastructures routières est au cœur des principales problématiques de gestion des municipalités québécoises et canadiennes. L'heure est à la gestion des infrastructures routières municipales.

Le présent travail porte sur l'analyse de divers systèmes de gestion des chaussées, en particulier des modèles de dégradations les composant et des critères de sélection amenant à porter un jugement qualitatif et quantitatif sur l'état d'un réseau routier. Ce travail permet de mettre en évidence l'apport de plusieurs indicateurs de performances sur les choix d'analyse et le poids des différents défauts sur les choix stratégiques des interventions de réhabilitation.

La réalisation de ce travail a impliqué une revue bibliographique des divers systèmes de gestion des chaussées connus de même que l'analyse sommaire des principaux paramètres actuels de conception, de construction, de réhabilitation, d'entretien et de gestion des réseaux routiers municipaux. Également, une analyse approfondie de l'identification des critères nécessaires pour la conception d'un système de gestion de l'entretien des chaussées est présentée. De plus, une étude des techniques d'auscultation applicables pour la création des modèles de dégradation théoriques permet de démystifier l'apport des principaux indicateurs de performances des chaussées flexibles.

Ce travail sert à connaître l'influence des méthodes de gestion sur les stratégies d'intervention. Il tend également à optimiser les stratégies d'intervention sur un réseau routier municipal par l'amélioration des modèles théoriques de dégradation applicables à ce type de chaussée. Finalement, la mise en place réelle des divers éléments nécessaires à un système de gestion de l'entretien des chaussées a mis en lumière les problématiques auxquelles fait face une corporation municipale lors de l'implantation d'un système de gestion des chaussées.

AVANT PROPOS

Dès la fin de mes études universitaires de premier cycle, j'ai été affecté comme ingénieur junior, et par la suite comme chargé de projet, dans le vaste monde de la construction et de la réhabilitation des infrastructures municipales. Il n'en fallait pas plus pour que cette passion de gérer les chaussées jaillisse naturellement de mes champs d'intérêts. Couplé à la formidable expérience que me font vivre les électeurs de mon quartier depuis maintenant six ans, mon rôle de conseiller municipal m'a permis de réaliser à quel point il peut être difficile de gérer des millions de dollars en infrastructures si les données disponibles, au moment de faire des affectations budgétaires, ne sont pas suffisantes ni adéquates.

Ainsi après trois ans, c'est avec beaucoup de fierté que je présente le fruit de plusieurs milliers d'heures d'études et de recherche. Je me dois de remercier au passage des personnes qui m'ont permis, surtout par leur support technique et moral et leurs encouragements ininterrompus, de me donner la motivation me permettant de remettre aujourd'hui un mémoire dont je suis fier.

La patience de ma directrice, Michèle St-Jacques, qui au fil des mois a toujours respecté mes horaires chargés et mes disponibilités limitées. L'ouverture d'esprit du

directeur des études supérieures du département de génie de la construction Monsieur Edmond Miresco avec qui j'ai eu de très bons échanges concernant mon avenir comme chercheur. De plus, je remercie la présence de Monsieur Paul Gervais sur le jury chargé d'évaluer mon travail. Également, trois personnes m'ont permis de concrétiser la mise en place des éléments techniques que je propose dans ce mémoire et j'ai nommé messieurs Rosaire Sauriol, Gilles Gauthier et Éric Dancause.

Sans aucune hésitation et avec beaucoup d'empressement, je souligne le précieux support de mes proches : ma mère et mon père, Pierrette et Léonard, sans qui je n'aurais jamais entamé et réussi ce projet d'études; ma sœur et son conjoint, Nathalie et Stéphane, qui m'ont toujours cru capable de relever un tel défi; la mère de mes enfants, Sylvie, qui m'a permis les soirs, les nuits et les fins de semaines de me consacrer sur cet important projet. Concilier la vie professionnelle, la politique, les études et la famille fut une étape de ma vie très difficile mais combien valorisante. C'est pourquoi je remercie ceux qui en ont probablement le plus souffert : mes amours Donovan, Anthony et Émie qui comprendront un jour pourquoi papa s'est absenté quelques longues soirées afin d'atteindre cet objectif personnel qui lui était si cher : merci, je vous aime ! Je témoigne à ces personnes toute mon affection, ma reconnaissance et mon amour.

« Il n'y a que dans le dictionnaire que le mot succès vient avant travail »

citation d'un auteur inconnu

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE	i
AVANT PROPOS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES GRAPHIQUES	x
LISTE COMPLÈTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES	xi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE DIVERS SYSTÈMES DE GESTION DES CHAUSSÉES ET DE PROGRAMMES DE RECHERCHES	4
1.1 La structure d'un système de gestion des chaussées	5
1.2 La présentation de différents systèmes de gestion des chaussées	7
1.2.1 Le système DESY 2000	7
1.2.2 Le système VIZIR	8
1.2.3 Le système MEDOR	8
1.2.4 Le système SAGER	9
1.2.5 Le système SENCHAU	10
1.2.6 Le système MACADAM	10
1.2.7 Le système PAVER	11
1.2.8 Le système LASCAR	12
1.2.9 Le système HDM-4	13

1.2.10 L'utilité de ces systèmes dans le cadre du présent mémoire	15
1.3 Un système expert	17
1.4 Certains programmes de recherche américain	18
1.4.1 Le programme stratégique de recherche SHRP et C-SHRP	21
1.4.2 Le programme de suivi du comportement à long terme (LTPP)	22
1.4.3 Les liens entre ces programmes et le présent mémoire	24
CHAPITRE 2 : ÉLÉMENTS MENANT À LA MISE EN PLACE D'UN	
SYSTÈME DE GESTION DES CHAUSSÉES	27
2.1 Un système intégré de gestion des infrastructures	28
2.1.1 Les données de conception	28
2.1.2 Les données de construction	28
2.1.3 Les données d'entretien et de réhabilitation	30
2.1.4 Les données de gestion et d'organisation	31
2.2 Un système d'aide à la décision	31
CHAPITRE 3 : ÉTUDE RÉSEAU	34
3.1 La composition de la base de données	35
3.1.1 La codification du réseau (niveau 1)	35
3.1.2 Les indicateurs de performances (niveaux 2 et 3)	39
3.1.2.1 Les dégradations de surface	41
3.1.2.2 L'évaluation du confort au roulement	48
3.1.2.3 L'étude des ornières	50
3.1.2.4 L'étude sur la portance	52
3.1.2.5 La texture de la surface	56
3.1.3 Les informations supplémentaires (niveau 4)	58
3.1.3.1 Le Débit Journalier Moyen Annuel (DJMA)	59
3.1.3.2 L'Équivalent de Charge Axiale Simple (ECAS)	59
3.2 La création de modèles de dégradation	60
3.2.1 Les modèles de Queiroz	62
3.2.2 Les modèles d'évolution de la société belge	64

3.2.3	Les modèles de dégradation du MTQ	66
3.2.4	Le modèle de dégradation PQI	69
3.2.5	Les modèles de l'AASHTO	70
3.2.6	Les modèles du système PAVER	72
3.2.7	Les modèles de dégradation des chaussées municipales	74
3.2.8	Le modèle de Markov	75
3.2.9	Les liens entre les modèles et leurs applications	76
3.3	Le regroupement par familles	78
3.3.1	Les familles du ministère des Transports du Québec	79
3.3.2	Les familles du système HDM-4	81
CHAPITRE 4 : IMPLANTATION CONCRÈTE D'UNE ÉTUDE RÉSEAU		85
4.1	ÉTAPE 1 - La création de la base de données	86
4.1.1	La section d'informations générales	87
4.1.2	La section relative à la circulation	90
4.1.3	La section comportant les données de construction	91
4.2	ÉTAPE 2 - La qualification des tronçons (sur le réseau)	92
4.2.1	Les relevés visuels	93
4.2.1.1	La sévérité et la densité des défauts	94
4.2.2	Les relevés de confort au roulement	115
4.2.3	L'évaluation générale de l'état du tronçon	115
4.3	ÉTAPE 3 - L'analyse des données et la validation des tendances	116
4.4	ÉTAPE 4 - Le développement des modèles de dégradation et le regroupement par familles	124
4.5	ÉTAPE 5 - Les scénarios d'intervention	128
4.6	Les études projets	133
CONCLUSION		136
BIBLIOGRAPHIE		141

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 3.1 Exemple de numérotation des tronçons de rue	37
Tableau 3.2 Échelle de sévérité	46
Tableau 3.3 Échelle de densité	46
Tableau 3.4 Modèles de dégradation du MTQ pour la portance	67
Tableau 3.5 Modèles de dégradation du MTQ pour IRI _e et l'IGF	68
Tableau 3.6 Matrice probabiliste de Markov	76
Tableau 3.7 Critères de sélection des familles du MTQ	80
Tableau 3.8 Classification des chaussées selon le modèle de HDM-4	83
Tableau 4.1 Répartition des tronçons parmi les secteurs administratifs	89
Tableau 4.2 Qualification des dégradations de surface	96
Tableau 4.3 Dégradations des chaussées en béton recouvertes d'enrobé	97
Tableau 4.4 Combinaison de la sévérité et de la densité	116
Tableau 4.5 Classification de l'état de la surface selon la cote visuelle	117
Tableau 4.6 Résumé quantitatif des chaussées en fonction de l'état de la surface ...	123

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Les trois modules de l'AASHTO	6
Figure 1.2 Architecture du système HDM-4	14
Figure 1.3 Répartition de l'utilisation de HDM-4	15
Figure 3.1 Clavier de Romdas	44
Figure 3.2 Analyseur de profil en long (APL)	49
Figure 3.3 Appareil de Romdas	50
Figure 3.4 Types d'ornières	50
Figure 3.5 Positionnement des capteurs de l'appareil Romdas	53
Figure 3.6 Positionnement des géophones du Dynaflect	54
Figure 3.7 Positionnement des géophones du FWD	55
Figure 3.8 Notion de texture	57
Figure 3.9 Courbe prédictive de comportement	61
Figure 3.10 Efforts dans l'enrobé	64
Figure 3.11 Échelle des valeurs de PQI	70
Figure 3.12 Les quatre régions du programme de l'AASHTO	71
Figure 3.13 Évaluation du PCI	73
Figure 3.14 Courbes de comportement du système PAVER	74
Figure 3.15 Modèles de dégradation pour les chaussées municipales	75
Figure 4.1 Identification et informations sur les tronçons	88
Figure 4.2 Sommaire des dégradations de surface d'une chaussée	95
Figure 4.3 Carrelage sévère	98
Figure 4.4 Fissures en rive	99

Figure 4.5	Ornières multiples	100
Figure 4.6	Fissure longitudinale très sévère	101
Figure 4.7	Fissuration transversale multiple	102
Figure 4.8	Lézarde	103
Figure 4.9	Désenrobage	104
Figure 4.10	Pelade	105
Figure 4.11	Ressuage de sévérité faible	106
Figure 4.12	Ondulation	107
Figure 4.13	Fissures cartésiennes	108
Figure 4.14	Tassement, affaissement	109
Figure 4.15	Fissure joint de construction	110
Figure 4.16	Fissures réfléchies	111
Figure 4.17	Nid-de-poule	112
Figure 4.18	Formulaire de relevé des dégradations visuelles	114
Figure 4.19	Pondération de l'état général de la chaussée	120
Figure 4.20	Distribution de la cote visuelle par catégorie	123
Figure 4.21	Distribution de l'âge des rues du réseau	124
Figure 4.22	Exemple pour valeur seuil prédéterminée	130
Figure 4.23	Les utilités publiques dans l'emprise de rue municipale	135

LISTE DES GRAPHIQUES

	Page
Graphique 4.1	Pondération pour interpolation 121
Graphique 4.2	Distribution de la cote visuelle pour chacun des tronçons 122
Graphique 4.3	Distribution de la cote visuelle en pourcentage du réseau 122
Graphique 4.4	Modèles de dégradation pour chaussée neuve et reconstruite de la Ville à l'étude 126

LISTE COMPLÈTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

SHRP	Strategic Highway Research Program
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
LRPC	Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MEDOR	Moyen d'Étude et d'Organisation de l'Entretien Routier
MACADAM	Méthode d'Analyse et de Classification Automatique des Dégradations pour Aide à la Décision
LASCAR	Logiciel d'Aide au Suivi des Coûts d'Aménagement des Rues
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
LET	Laboratoire d'Économie des Transports
SPPU	Secrétariat Permanent du Plan Urbain
HDM-4	Highway Design and Maintenance standards Models, version 4
BMD	Banque Mondiale de Développement
DFID	UK Department for International Development
ADB	Banque de Développement Asiatique
MIT	Massachusetts Institute of Technology
SNRA	Swedish National Road Administration
C-SHRP	Canadian Strategic Highway Research Program
SN	Nombre Structural
ITN	Initial Traffic Number
PMS	Pavement Management System
LTPP	Long-Term Pavement Performance
TRB	Transportation Research Board
FHWA	Federal Highway Administration

NPPDB	National Pavement Performance Data Base
PSI	Present Serviceability Index
PCI	Pavement Condition Index
VCI	Visual Condition Index
RCI	Roughness Condition Index
IQC	Indice de Qualité des Chaussées
IRI	International Roughness Index, indice de rugosité internationale
IRRE	Expérimentation Internationale de Rugosité des chaussées
APL	Analyseur de Profil en Long
FWD	Falling Weight Deflectometer, déflectomètre à boulet
DJMA	Débit Journalier Moyen Annuel
ECAS	Équivalence de Charge Axiale Simple
DTN	Design Traffic Number
FEC	Facteur d'Équivalence de Charge
MTQ	Ministère des Transports du Québec
OGR	Ornière à Grand Rayon
IGF	Indice Globale de Fissuration
IRIe	Indice de Rugosité International été
β	beta
α	alpha
γ	gamma
PQI	Pavement Quality Index
RCI₍₂₎	Riding Confort Index
SAI	Structural Adequacy Index
SDI	Surface Distress Index
AMGB	Asphalt mix on granular base
AMAB	Asphalt mix on asphalt base
AMSB	Asphalt mix on stabilised base
AMAP	Asphalt mix on asphalt pavement

AMCP	Asphalt mix on concrete pavement
STGB	Surface treatment on granular base
STAB	Surface treatment on asphalt base
STSB	Surface treatment on stabilised base
STAP	Surface treatment on asphalt pavement
STCP	Surface treatment on concrete pavement
JPCP	Joint compacted concrete
CRCP	Continuously reinforced concrete
CBGB	Concrete block granular base
CBSB	Concrete block stabilised base
SSGB	Set stone on granular material
BRGB	Bricks on granular material
GRUP	Granular unsealed pavement
EAUP	Earth unsealed pavement
SAUP	Sand unsealed pavement
END	Évaluation Non Destructive
CBR	California Bearing Ratio
CCR	Cote de Condition de Roulement
MTO	Ministère des Transports de l'Ontario
MTA	Ministère des Transports de l'Alberta

INTRODUCTION

Au Canada, comme au Québec, le paysage économique se disperse sur plusieurs milliers de kilomètres de routes. Regroupés par agglomération, les différents acteurs économiques doivent être assurés que le transport des personnes et des marchandises se fasse de façon sécuritaire dans les délais et conditions permettant aux entreprises d'être des plus compétitives.

Les routes sont d'importantes composantes permettant à une collectivité d'accroître ses chances de succès. Que serait la vie sans routes ? Avec une valeur de remplacement de plus de cinquante milliards de dollars et une longueur de 90 000 km, le réseau routier municipal représente une importante partie du patrimoine collectif québécois. En ce qui a trait à l'entretien du réseau routier canadien, les données sont encore plus révélatrices du besoin criant de gérer avec efficience des sommes dépassant les quatre milliards de dollars annuellement. En France, la remise à neuf du patrimoine routier est estimée à plus de 700 milliards de francs.

Au fil des ans, les trois paliers de gouvernement fédéral, provincial et municipal ont investi plusieurs milliards de dollars dans l'ensemble du réseau routier canadien. Toutefois, plusieurs études démontrent que les réseaux de routes, d'aqueducs et d'égouts sont largement sous-financés. Un grand nombre de gestionnaires, comme les provinces et les grandes villes, utilisent différentes méthodes afin de gérer le mieux possible les réseaux dont ils ont la charge. Cependant, les administrations locales de plus petite envergure ont peine à recueillir les informations pertinentes afin de faire les choix stratégiques d'interventions pour s'assurer de la pérennité de leur patrimoine routier. De

plus, les municipalités font face à un manque de ressources financières ralentissant de beaucoup l'amélioration des connaissances du réseau et l'affectation des deniers publics nécessaires au maintien de niveaux minimums d'acceptabilité.

Les services techniques responsables de la gestion du réseau routier d'une collectivité ressentent plus que jamais la nécessité d'avoir à leur disposition des outils d'évaluation objectifs des chaussées, tant au niveau qualitatif que quantitatif. Le besoin de mettre en place des modèles prédictifs de l'évolution du comportement des chaussées est motivé par le désir d'avoir une connaissance globale de la qualité du réseau routier. Il devient nécessaire de prioriser les interventions permettant d'assurer la pérennité du patrimoine routier en planifiant des travaux de réfection basés sur une stratégie d'amélioration à long terme.

Le premier chapitre, dans lequel se trouve une revue littéraire, dresse un portrait général d'un système de gestion des chaussées et permet de présenter un sommaire des principaux systèmes de gestion de chaussées utilisés depuis quelques années. En plus d'introduire la notion de système expert, il met l'emphase sur le plus important programme de recherche routière en sol nord-américain, soit le programme SHRP (strategic highway research program).

Le deuxième chapitre présente les concepts de système de gestion intégré des infrastructures et de système d'aide à la décision pour la gestion des infrastructures routières.

Le troisième chapitre présente les principaux critères de sélection des indicateurs de performances et les principaux équipements servant à obtenir les données techniques de dégradations sur les sections de routes. De plus, il expose certains modèles de dégradation relatifs à différents indicateurs de performances et utilisables lors d'une étude réseau.

Le quatrième chapitre se penche sur l'analyse des éléments nécessaires qui ont mené à l'implantation d'un système de gestion des chaussées dans une municipalité québécoise. Il présente un cas type des problématiques rencontrées lors de la création et de la mise en place d'une banque de données, de modèles de dégradations prédictifs et d'analyses de scénarios d'optimisation. La création d'une matrice de pondération afin d'améliorer la corrélation entre, d'une part, un facteur global créé par la somme des défauts de dégradation et, d'autre part, une cote globale de confort, semble être une première dans le cadre de la mise en place d'un système de gestion des chaussées. Finalement, ce chapitre est introduit la notion d'étude projet.

CHAPITRE 1

REVUE DE DIVERS SYSTÈMES DE GESTION DES CHAUSSÉES ET DE PROGRAMMES DE RECHERCHES

Ce chapitre identifie les différents systèmes de gestion de chaussées existants afin de mettre en lumière ce qui peut être utilisé dans la mise en place des éléments essentiels pouvant convenir à des réseaux routiers municipaux de petites tailles comme celui qui fait l'objet du présent mémoire. Depuis déjà quelques années, plusieurs auteurs ont publié différents ouvrages traitant de l'importance de mettre en place des systèmes de gestion des infrastructures routières. La grande majorité des écrits sur ce sujet semble provenir d'études portant sur des réseaux desservant de grandes collectivités.

Un système de gestion des chaussées est un outil essentiel à la programmation de l'entretien du patrimoine routier. L'optimisation des interventions à l'intérieur d'un processus budgétaire revêt une grande importance lorsque les propriétaires des infrastructures sont confrontés à la fois à une augmentation de la demande de réfection et à une réduction des sommes et des effectifs.

Au fil des ans, les systèmes de gestion des chaussées ont grandement évolué. Ils sont de plus en plus utilisés par les collectivités soucieuses de maintenir et d'améliorer les infrastructures de transport des personnes et des marchandises.

Plusieurs groupes de travail ont tenté de définir ce qu'est un système de gestion des chaussées. Un système de gestion des chaussées peut être défini comme étant un ensemble d'outils et de méthodes permettant aux gestionnaires d'identifier les meilleures

stratégies afin d'évaluer et de maintenir les chaussées dans un état de service acceptable.

1.1 La structure d'un système de gestion des chaussées

Étant donné le nombre de systèmes utilisés par les différents gestionnaires, plusieurs structures sont proposées afin de mettre en place un système de gestion des chaussées.

L'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), qui est une des références dans la gestion des infrastructures, propose une méthode d'analyse basée sur trois modules (Paterson, 1987) :

- a. une base de données, qui se veut le miroir des conditions réelles des tronçons du réseau routier;
- b. des méthodes d'analyse, incluant des modèles prédictifs, permettant de rendre plus objectives les décisions en regard des choix d'interventions;
- c. un processus de rétroaction afin d'évaluer les incidences de la mise en place d'un tel système et de valider les lois de comportements prédits à l'aide des courbes de dégradation utilisées dans les méthodes d'analyse.

La figure 1.1 met en relation les trois modules identifiés par l'AASHTO.

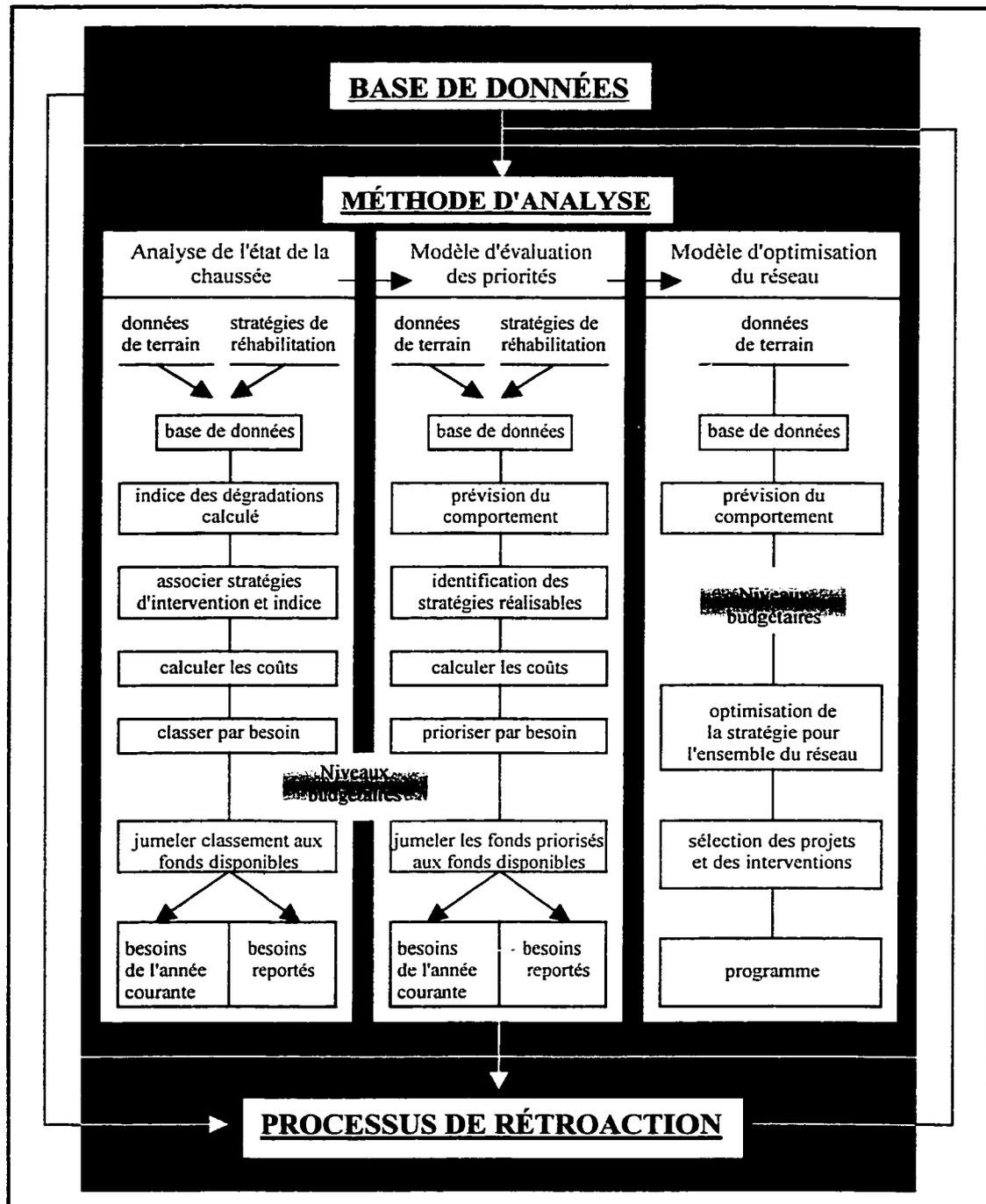


Figure 1.1 Les trois modules de l'AASHTO
(Adapté de Paterson, 1987).

1.2 La présentation de différents systèmes de gestion des chaussées

Comme énoncé précédemment, il est peu fréquent de trouver dans la littérature des écrits présentant des systèmes de gestion des chaussées utilisables spécifiquement pour des petits réseaux routiers composés que de quelques dizaines de kilomètres de routes municipales. Depuis une dizaine d'années, plusieurs organisations ont mis en place des stratégies d'analyses permettant d'optimiser le rendement des sommes investies dans la gestion et la réfection des infrastructures routières.

Cette section fait un bref survol des différents systèmes de gestion des chaussées implantés au cours des dernières années dans les grandes collectivités par divers intervenants tels que la Banque mondiale de développement, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et le Département de recherche en génie de la construction de l'Armée américaine, soit les systèmes DESY 2000, VIZIR, MEDOR, SAGER, SENCHAU, MACADAM, PAVER, LASCAR et HDM-4.

1.2.1 Le système DESY 2000

Initialement appelé DÉCRIROUTE ou DÉCRISYSTEME au début des années 80, le système de gestion des chaussées des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées (LRPC), baptisé DESY 2000, permet la saisie des données et le repérage automatique des différentes dégradations. Il se présente comme un système autonome informatisé permettant de remplir trois fonctions, soit :

- a. acquisition de données routières de diverses natures;

- b. conditionnement des résultats afin de les introduire dans une banque de données;
- c. mise en plan des informations sur les itinéraires routiers.

1.2.2 Le système VIZIR

Le système VIZIR est une méthode d'évaluation des chaussées souples par système informatique issue de l'expérience de l'entreprise SETRA et du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) en France. Mis en place à la fin des années 80, ce système est le fruit d'études portant sur des dizaines de milliers de kilomètres de routes, principalement sur les continents asiatique et africain.

Le système VIZIR est une méthode d'évaluation, de qualification et de hiérarchisation d'un réseau routier de chaussées souples (Autret et Brousse, 1994). Ce système est une méthode de qualification visuelle de l'état de dégradation de la chaussée caractérisée par une gravité et une étendue du défaut identifié. L'état visuel d'une section de la chaussée, couplé à une déflexion, débouche sur une note globale de la structure.

Le croisement des paramètres de la circulation et de l'aspect visuel des tronçons à l'étude permet une première estimation de l'enveloppe budgétaire nécessaire afin d'atteindre les standards de qualité établis par les gestionnaires du réseau.

1.2.3 Le système MEDOR

Le logiciel MEDOR (moyen d'étude et d'organisation de l'entretien routier), développé par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à la fin des années 80, est un logiciel intégré comportant un gestionnaire de fichiers

spécifique à l'utilisation routière. Le système MEDOR est donc indépendant des autres logiciels de commerce. Il possède une grande compatibilité avec les autres systèmes informatiques.

Chaque fichier peut être adapté selon les besoins spécifiques des différents gestionnaires utilisateurs. De cette façon, les priorités peuvent être identifiées à l'aide de différents paramètres tels que la capacité structurale, la sollicitation et le niveau de service.

MEDOR permet d'exporter les données recueillies vers d'autres applications, de faire des simulations de stratégie d'intervention et d'analyser statistiquement les données à l'aide de diagrammes. Ce système est applicable à des réseaux routiers de moyenne envergure allant jusqu'à 15 000 kilomètres.

1.2.4 Le système SAGER

En partenariat avec l'entreprise SETRA, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a développé au cours des années 80 un système centré sur la gestion globale de l'ensemble du réseau routier. Mis en fonction en 1989, le système SAGER est, depuis ce temps, en service dans près de la moitié des départements français (Bayle, 1994). Toutefois, depuis le milieu des années 90, les systèmes MEDOR et SAGER sont de moins en moins utilisés car ils n'offrent pas aux utilisateurs les informations supplémentaires ayant trait aux positionnements géographiques généralement retrouvés dans les Systèmes d'Informations Géographiques.

SAGER est un système bien adapté aux réseaux d'importance moyenne ayant entre 500 et 5 000 kilomètres de routes.

1.2.5 Le système SENCHAU

La compagnie Scetauroute de France a mis au point au milieu des années 1980 un logiciel afin de mieux cerner le coût global construction-entretien des chaussées. Le logiciel facilite l'analyse, par type de structure, de la fréquence des entretiens ainsi que de la décomposition entre les interventions effectuées sur la structure. De plus, il dresse un schéma décrivant les travaux de construction et d'entretien des chaussées.

Les principales fonctions du système SENCHAU permettent d'évaluer le coût total des différents types de structure; de plus, elles fournissent les éléments techniques et économiques pour optimiser les choix d'interventions ainsi qu'une base pour l'évaluation des deniers publics à utiliser pour s'assurer d'un certain niveau de service du réseau routier.

Par ailleurs, à l'aide des modèles prédictifs, l'utilisateur peut anticiper la fréquence d'apparition des défauts et déterminer les lois évolutives afin de répartir les interventions d'entretien des différentes structures.

1.2.6 Le système MACADAM

Le système MACADAM (méthode d'analyse et de classification automatique des dégradations pour aide à la décision) est un système opérationnel de diagnostic des dégradations des chaussées par analyse d'image. Il a été créé et mis en fonction à la fin des années 80 afin de caractériser les principales dégradations observées sur la chaussée.

Grâce à une méthode d'analyse automatisée, ce système entraîne une constance et une reproductibilité sans faille. Le MACADAM permet donc

d'éliminer les erreurs provenant de l'opération manuelle en plus d'éliminer les variations dues à la subjectivité de l'opérateur.

Après avoir numérisé l'image, le logiciel analyse le film provenant du système GERPHO en divisant les images en portions de 4,4 m de côté. Ainsi, le système caractérise les dégradations comme les fissures longitudinales et transversales, le carrelage et le désenrobage. Pour chacune des dégradations relevées, le système fait une analyse quantitative en plus de positionner de façon très précise la localisation des défauts afin d'évaluer s'ils se trouvent en trace de roue ou non. Certaines études démontrent que la fiabilité du système est de 90%.

1.2.7 Le système PAVER

Le système PAVER est un puissant outil de planification, de programmation et de gestion des infrastructures de chaussées (Uzarski et Soule, 1986). Développé à la fin des années 1970 par le United States Army Construction Engineering Research Laboratory, le système de gestion des chaussées PAVER a été introduit en 1980 dans certaines collectivités militaires et civiles des États-Unis.

Afin de mettre en place des modèles de dégradation, ce système de gestion nécessite un regroupement par famille des tronçons de routes à l'étude. Par la suite, pour chacune des familles, il effectue une analyse du comportement et la création des modèles prédictifs servant de guide aux choix d'intervention.

Les différentes courbes de comportement du système PAVER serviront de référence pour l'élaboration des courbes de comportement du présent mémoire.

1.2.8 Le système LASCAR

Le logiciel français LASCAR (logiciel d'aide au suivi des coûts d'aménagement des rues) est le résultat d'une recherche faite par l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) et le Laboratoire d'Économie des Transports (LET) grâce à l'obtention d'une subvention provenant du Secrétariat Permanent du Plan Urbain (SPPU).

Le cadre administratif de ce logiciel comprend trois niveaux :

- a. *les finalités*, c'est à dire les raisons et les motivations qui ont mené au choix et à la réalisation des projets. Elles sont réparties en vingt classes représentant les grandes orientations politiques (ex. la sécurité et l'amélioration des accès);
- b. *les mesures*, réparties en vingt-cinq classes, regroupant l'ensemble des solutions techniques (ex. fluidité et stationnement) à mettre en œuvre afin d'atteindre les finalités identifiées précédemment;
- c. *les usagers*, représentant les bénéficiaires.

Les trois objectifs de ce logiciel d'aide à la gestion sont de faciliter les études et l'engagement budgétaire, d'améliorer l'exécution et le suivi des travaux et de fournir une vision globale de la nature et de l'évolution des dépenses afin de mieux les planifier.

La ventilation des coûts évalués par ce logiciel est un outil essentiel pour le personnel technique devant justifier, face aux élus, un dépassement budgétaire. Avec LASCAR, une répartition rapide des dépenses par infrastructure et par nature est effectuée. Le module *analyse des coûts* permet de faire, à partir d'une connaissance initiale du chantier, une série de calculs et de règles d'affectations menant à l'identification des sommes nécessaires pour l'entretien.

1.2.9 Le système HDM-4

Le système de gestion HDM-4 (highway design and maintenance standards models, version 4) de la Banque Mondiale de Développement (BMD) est la suite logique de la mise en place de HDM-3 en 1987. La série HDM est issue de la mise en commun de diverses études techniques et économiques provenant d'organismes comme le UK Department for International Development (DFID), la Banque de Développement Asiatique (ADB), le Massachusetts Institute of Technology (MIT) et le Swedish National Road Administration (www.hdm4.piarc.org/info/HDMfeatures-e.htm#Overview).

À la faveur de ce système de gestion, diverses interventions peuvent être reliées comme :

- a. l'entretien et la réhabilitation;
- b. les schémas d'amélioration géométriques;
- c. la planification et la construction de nouvelles routes;
- d. les options d'investissement;
- e. l'évaluation de l'agressivité de la circulation.

HDM-4 est un des seuls systèmes de gestion capable d'emmagasiner des informations décrivant les caractéristiques des véhicules utilisant le réseau. Ces caractéristiques servent à évaluer, entre autres, les coûts d'opération reliés aux véhicules, aux coûts de transport, aux coûts des accidents et à la pollution.

La figure 1.2 expose de façon schématique l'architecture du système HDM-4 de la BMD.

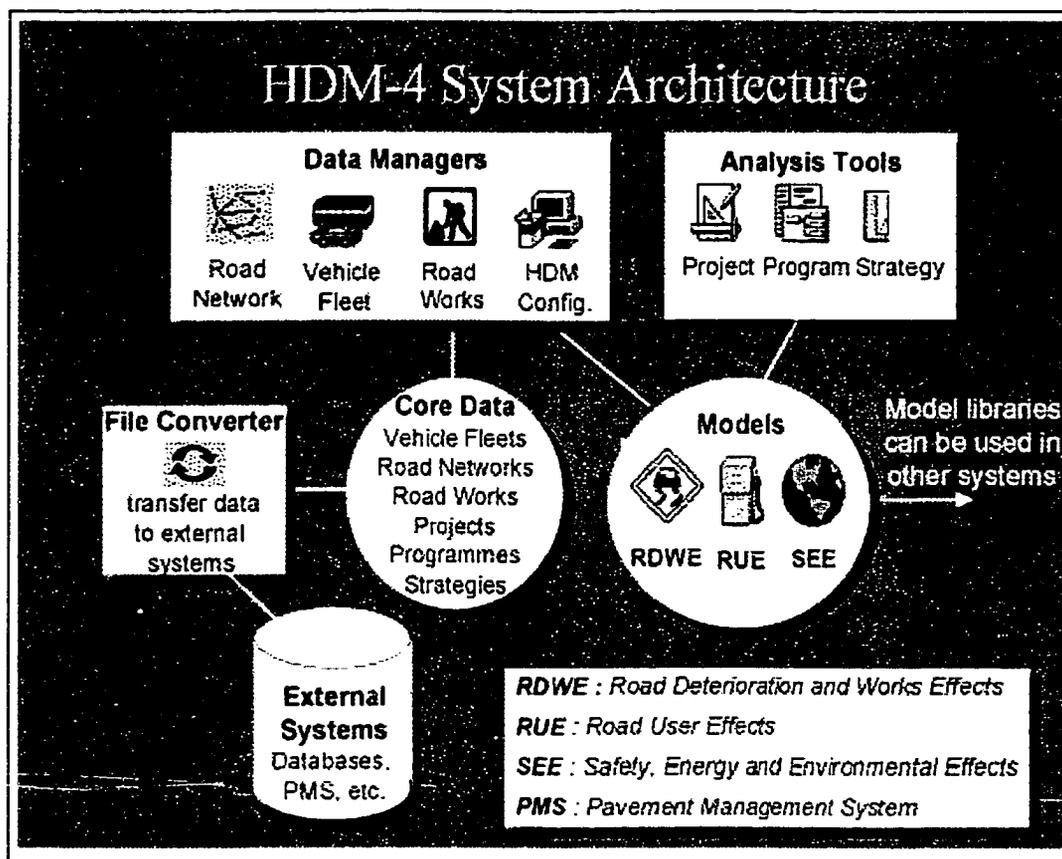


Figure 1.2 Architecture du système HDM-4

(www.roadsource.com/hdm/ et www.hdm4.piarc/appdetail-e)

Dans le domaine des chaussées, le système HDM-4 est un des plus utilisés. La figure 1.3 donne une indication de la répartition de l'utilisation du système HDM-4 à travers le monde.

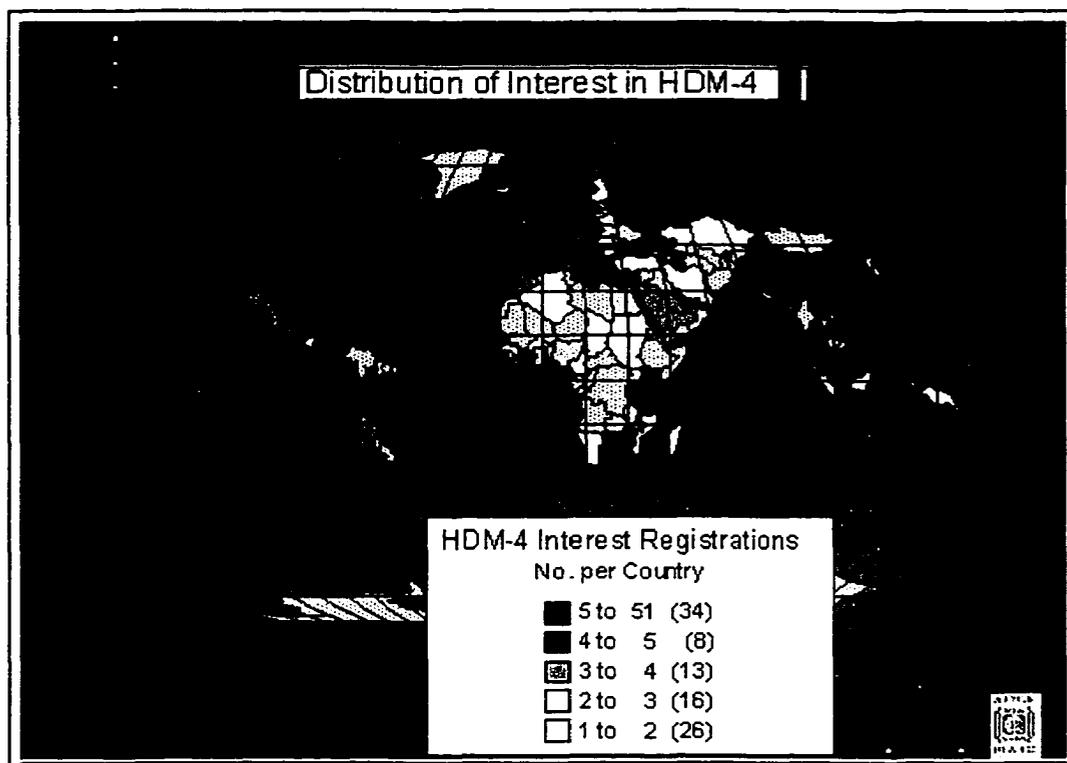


Figure 1.3 Répartition de l'utilisation de HDM-4
(www.roadsource.com/hdm/ et www.hdm4.piarc.org/info/appdetail-e).

1.2.10 L'utilité de ces systèmes dans le cadre du présent mémoire

Étant donné que les systèmes de gestion précédemment élaborés ont été mis en place pour des réseaux de moyenne, grande et très grande envergure il sera difficile de calquer, dans le cadre du travail présenté, les différentes étapes de mise en place de ces systèmes. Cependant, certaines particularités propres à ces

systèmes peuvent être utiles et convenir à un réseau de faible envergure comme celui qui sera traité dans les prochains chapitres de ce mémoire.

Par exemple, dans le système VIZIR la méthode d'évaluation des dégradations au niveau de la sévérité et de l'étendue peut facilement être la base de reconnaissance des défauts d'un petit réseau. Également, la présence d'une note globale de qualité de la structure est une unité de mesure utilisable dans les réseaux routiers de faible envergure. De plus, les modèles de dégradation identifiés et utilisés dans le développement du système PAVER peuvent être pertinents pour le réseau municipal à l'étude. Le concept de familles de ce système doit également être évalué dans le cadre du regroupement des tronçons de routes.

Subséquentement, les éléments d'analyses et de planification proposés par le logiciel LASCAR pourront servir de base lors de la mise en place du calendrier de réfection qui ne fera cependant pas partie de ce travail. Également, l'importance des coûts issus d'une analyse automatisée des défauts de la chaussées ne permettra pas aux gestionnaires de petits réseaux d'avoir accès à des équipements comme le propose le système d'analyse et de gestion MACADAM.

En ce qui concerne le système SENCHAU, il pourrait servir de logiciel d'analyse lorsque le réseau routier possède beaucoup de structures tels ponts et viaducs. La fréquence et les coûts d'entretien reliés à ces immobilisations étant très dispendieux, il est pertinent d'y porter une attention spéciale lorsque le réseau en possède un nombre élevé, ce qui n'est pas le cas du réseau routier à l'étude.

Pour sa part, le système de gestion HDM-4, quoique très complet, commande une certaine lourdeur administrative que les petites corporations municipales ne sont généralement pas en mesure d'alimenter. Les coûts d'opération reliés aux véhicules ont très peu ou pas du tout d'influence sur les

choix et stratégies d'interventions pour les propriétaires de petits réseaux. Cependant, si ce logiciel tenait compte des modifications possibles aux schémas d'aménagement des municipalités régionales de comté et des régions métropolitaines de recensement, un intérêt nouveau pourrait être créé.

1.3 Un système expert

Un système expert peut être décrit comme étant un système de gestion utilisant la technologie d'un système à base de connaissances. Les systèmes experts servent à résoudre des problèmes complexes à l'aide de mécanismes basés sur les connaissances des experts d'un domaine particulier. Il s'agit en fait, d'une intelligence artificielle simulant le comportement d'un individu face à des options, des choix ou des stratégies.

Un système expert est alimenté par une suite logique d'acquisition de connaissances d'où émanent des modèles ou des prototypes afin de tendre vers des analyses objectives. Le système expert reçoit des données, les traite et soumet des solutions dans une logique ne laissant que très peu ou pas du tout de place à la subjectivité.

L'arrivée d'un système expert dans la gestion des infrastructures est très souvent l'étape suivant la mise en place d'un système de gestion des chaussées basé sur la prédiction du comportement de ces dernières. Le développement des systèmes experts est donc plus récent que celui de la gestion stricte des chaussées comme décrit précédemment.

Depuis quelques années, la prolifération des systèmes d'aide à la décision et des systèmes experts laisse entrevoir la venue d'une très large gamme de produits informatiques intéressants pour les collectivités possédant des réseaux routiers de

moyenne ou de grande envergure. Quoique peu utilisé par les organismes possédant des réseaux n'ayant que quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres de routes, la notion de système expert doit faire partie d'une vision à long terme de la gestion des infrastructures municipales.

1.4 Certains programmes de recherche américain

Lorsqu'il est question de l'évolution des méthodes de conception des chaussées, il est incontournable de s'arrêter sur la méthode de dimensionnement de l'AASHTO.

De loin le plus important des programmes de recherche sur les infrastructures routières en sol américain, le Strategic Highway Research Program (SHRP, 1995), a vu le jour grâce aux compétences de l'American Association of State Highway and Transportation Officials.

Le programme d'essai de l'AASHTO a été élaboré à la fin des années 1950 dans l'état de l'Illinois (<http://www.transportation.org/publications/bookstore.nsf/>). L'objectif de cette méthode de dimensionnement est de pouvoir identifier par une cote ce qui représente le niveau de qualité d'une route en regard du nombre de passages effectués sur ses tronçons. L'essai consiste, premièrement, à faire circuler des véhicules de poids variés (mais connus) sur quelques centaines de sections routières d'épaisseurs et de compositions différentes et, deuxièmement, de vérifier l'évolution de certains paramètres tels la fissuration, la qualité de roulement, l'ondulation, les ornières et autres qui se manifestent au fur et à mesure du processus d'essai.

L'essai AASHTO a permis de déterminer de façon assez précise l'agressivité relative de diverses charges d'essieux. La résistance structurale de la chaussée,

identifiée par le facteur « SN » (nombre structural), est directement reliée à l'agressivité des charges des véhicules qui circulent. Ainsi, un indice de référence a été adopté pour identifier le poids de l'essieu occasionnant un dommage correspondant à l'unité. En adoptant un essieu de 80 kN, soit 18 000 lbs comme référence, il devient plus facile de comparer l'impact et l'influence de différents poids lourds sur le nombre structural SN (SHRP, 1994).

Avec ces données, il est maintenant possible d'identifier une formule pour trouver le nombre structural. En pesant chaque essieu circulant dans la voie la plus achalandée, en y ajoutant le dommage correspondant et en faisant la somme pour toute une journée, il devient possible de trouver le ITN (initial trafic number). Par la suite, quelques autres paramètres doivent être pris en compte comme, par exemple, l'augmentation anticipée du trafic et la vie anticipée de la chaussée.

Le guide de conception des chaussées de l'AASHTO a été mis à jour par un groupe de travail formé de représentants de ses sous-comités (SHRP-1, 1994). Ceux-ci avaient le mandat de revoir les différents paramètres de conception, de construction, d'entretien et de planification des chaussées, en se basant sur les principaux algorithmes des éditions de 1981 et de 1986, et d'y ajouter les nouvelles conditions présentes dans l'environnement.

L'évolution des études menées par l'AASHTO a conduit à plusieurs modifications. Les changements les plus importants ont trait aux procédures de conception de surdimensionnement. De plus, des modifications ont été apportées à trois différentes annexes, soit : a) le développement des modèles pour les effets de la sous-fondation et des sols supports; b) la modification de la table des facteurs d'équivalence et c) les recommandations pour la sélection des méthodes de surdimensionnement utilisant les modèles de performance de l'AASHTO. Plusieurs autres modifications mineures sont également traitées à l'intérieur du nouveau guide.

Le nouveau guide, édité en 1993, permet de prendre plus sérieusement en considération 14 paramètres, connus du dernier guide mais moins influents que dans le nouveau (www.tfhrc.gov/pavement/ltpa) :

- a. performance coût/entretien/durée;
- b. module de résilience du sol support;
- c. module de résilience des coefficients par couche pour les chaussées flexibles;
- d. drainage;
- e. considérations environnementales;
- f. accotements en béton de ciment;
- g. érosion de la sous-fondation pour les chaussées flexibles;
- h. coût et durée de vie;
- i. réhabilitation;
- j. gestion des chaussées;
- k. facteur d'équivalence pour le poids;
- l. meilleures données de trafic;
- m. conception pour chaussées à faible trafic;
- n. statut du savoir et de l'évolution des méthodes de conception.

Avec l'édition de 1993, le groupe de travail propose une approche de gestion beaucoup plus intégrée que ne le faisait le précédent guide de la fin des années 1980. La notion de PMS (pavement management system) est pratiquement la pierre angulaire du nouveau guide.

Parallèlement à la recherche sur les méthodes de conception effectuées par l'AASHTO, d'autres programmes de recherche sur le comportement des chaussées

ont été élaborés. C'est le cas du programme stratégique de recherche routière SHRP.

1.4.1 Le programme stratégique de recherche SHRP et C-SHRP

Vers la fin des années 1980, à la suite de nombreuses études et tractations, le Congrès des États-Unis, conjointement avec les départements de Transport des différents États, a établi le programme de recherche stratégique SHRP (Strategic Highway Research Program et www.ota.fhwa.dot.gov/pubs/FOCUS/37pav.htm). Il s'agissait au départ d'un programme de recherche d'une durée de cinq ans avec un budget initial de 150 millions de dollars américains devant mener à l'amélioration de la performance et de la durabilité des routes et également à les rendre plus sécuritaires pour les usagers et pour les travailleurs de la voirie. Avec ce programme, le Congrès vise à analyser et à mieux comprendre plusieurs paramètres fondamentaux directement reliés à la performance et à la durabilité des chaussées. Il envisage, à l'aube du troisième millénaire, de se doter des outils requis pour accroître la performance des chaussées en s'assurant d'éviter toute augmentation significative des coûts. Ainsi, le programme SHRP a été divisé en 4 modules spécifiques de recherche, soit :

- a. les matériaux asphaltiques;
- b. les opérations et travaux routiers;
- c. le béton et les structures;
- d. les performances à long terme des chaussées (« LTPP »).

De plus, le Canada, voulant faire bénéficier le pays des travaux de recherche en cours aux États-Unis, a établi, conjointement avec les ministères des transports des différentes provinces, un programme affilié,

nommé «programme stratégique de recherche routière du Canada » ou C-SHRP (C-SHRP, 1997). Ainsi, trois routes d'essais ont été construites en 1991/92 pour en évaluer la performance à long terme.

Les études entourant le quatrième volet du programme SHRP tentent de prédire le comportement à long terme des chaussées. Ce programme de suivi de comportement à long terme LTPP (long-term pavement performance) permet de fixer les bases du développement d'un système de gestion des chaussées PMS (<http://www.hend.com/shrp>).

1.4.2 Le programme de suivi du comportement à long terme (LTPP)

Le LTPP est un des quatre sujets de recherche identifiés par le programme de recherche américain SHRP (Hadley, 1994). Il vise à analyser et à comprendre plusieurs paramètres fondamentaux directement reliés à la performance et à la vie utile des routes composant le système routier américain. Son principal objectif économique est de doter les gestionnaires des outils nécessaires pour accroître la performance des chaussées dans le but de mieux servir les utilisateurs du réseau, en s'assurant d'éviter toute augmentation significative des coûts.

Actuellement, environ 20 milliards de dollars américains sont dépensés annuellement aux États-Unis pour le remplacement et la réhabilitation des chaussées. Malgré l'ampleur colossale de ces dépenses, aucune recherche sérieuse sur la performance à long terme des chaussées n'a été effectuée depuis celle de l'AASHTO vers 1960. Celle-ci a été effectuée dans des conditions climatiques et avec des sols très spécifiques et a mené à l'élaboration des formules de design de l'AASHTO (ces tests ont été réalisés dans la région d'Ottawa dans l'état de l'Illinois). Ces restrictions constituent

d'ailleurs une des principales causes de contestation des formules de l'AASHTO.

Le programme LTPP a donc répondu à un besoin réel. En effet, l'objectif de recherche était de trouver des méthodes de design qui soient basées non pas, comme c'est le cas actuellement, sur des valeurs et coefficients empiriques (ou semi-empiriques), mais plutôt sur la performance réelle des chaussées. De cet engagement est né une vision à long terme de la gestion des infrastructures, combinée à un manque de données sur l'état réel et le vieillissement du réseau routier existant.

Plusieurs organismes américains ont collaboré à l'élaboration du programme de recherche LTPP : l'American Association of State Highway and Transportation Officials, le Transportation Research Board (TRB) et le Federal Highway Administration (FHWA), pour ne nommer que ceux-là. Le but des études de la recherche LTPP, tel qu'il a été établi au départ, est d'augmenter la durée de vie utile des chaussées par l'étude de la performance à long terme des divers designs de structure de chaussées, faisant appel à des matériaux de construction différents et dans des cas où le chargement, l'environnement, les sols d'infrastructure et les pratiques d'entretien sont différents. L'étude doit se prolonger sur 20 ans, avec des étapes intermédiaires après 5 ans (court terme) et 10 ans (moyen terme).

Le programme de recherche LTPP permet de réduire les coûts reliés à un mauvais entretien des infrastructures routières en plus de mieux connaître la capacité des routes face aux poids des véhicules lourds, à leurs nombres et à leurs dimensions.

Les études sur le LTPP permettent aussi d'augmenter la durée de vie des chaussées en identifiant différentes méthodes de conception de la

structure initiale et de réhabilitation, en regard des paramètres suivants : les matériaux de construction, les charges, l'environnement, les sols en place et l'entretien.

Le programme de recherche LTPP doit atteindre 6 objectifs spécifiques :

- a. évaluer les méthodes de conception existantes;
- b. développer des méthodologies de conception améliorées et des stratégies pour la réhabilitation des chaussées existantes;
- c. développer des équations de conception améliorées pour les chaussées neuves ou reconstruites;
- d. déterminer les effets : 1) du chargement, 2) de l'environnement, 3) des propriétés et de la variabilité des matériaux, 4) de la qualité de construction et 5) des niveaux d'entretien par rapport à la performance et à la détérioration des chaussées;
- e. déterminer les effets d'éléments spécifiques de conception sur la performance des chaussées;
- f. établir, à long terme, une base de données nationale des routes (NPPDB: National Pavement Performance Data Base) afin de réaliser les objectifs du programme SHRP et de déterminer les besoins futurs.

1.4.3 Importance de ces programmes dans le cadre du présent mémoire

Le programme de dimensionnement des chaussées de l'AASHTO met en lumière l'importance d'identifier la valeur qualitative d'une chaussée à l'aide d'une «cote» de dégradation reliée au nombre de passage et à l'agressivité des véhicules. La vérification de l'évolution de certains

paramètres tels la fissuration, la qualité de roulement, l'ondulation, les ornières et autres qui se manifestent au fur et à mesure du processus d'essai aidera le gestionnaire à mettre en place des modèles prédictifs de dégradation afin de se doter d'une stratégie d'intervention globale pour l'ensemble de son réseau routier.

Depuis quelques années la pierre angulaire des études et recherches du programme de l'AASHTO est la mise en place et l'amélioration des notions concernant un système de gestion des chaussées.

L'arrivée du programme SHRP intensifie les recherches sur le comportement des chaussées en mettant l'emphase sur la performance et la durabilité des chaussées. Le volet de ces études qui concerne le plus le travail présenté est le suivi du comportement à long terme des chaussées. Ce sous-programme du SHRP, le LTPP qui est un suivi du comportement à long terme des chaussées permet d'identifier les modèles de dégradation théorique réalistes pouvant servir à choisir les stratégies d'interventions optimales (www.tfhrcc.gov/pavement/ltp/htm).

La fiabilité des modèles de dégradation qu'un tel projet de recherche permet d'associer aux chaussées soumises aux différentes conditions climatiques est une importante composante de l'implantation d'un système de gestion des chaussées provinciales et municipales sur lesquelles le débit et la vitesse de circulation sont élevés. Il sera intéressant de suivre l'évolution de ce programme dans les années à venir.

Les chapitres suivants introduisent les notions d'étude réseau et d'étude projet afin de mettre en place les éléments essentiels à l'utilisation d'un système de gestion des chaussées. De plus, ils traitent des données

essentielles menant à la création de la base de données servant de référence lors de la codification des différents défauts des tronçons de route à l'étude. Ils permettent la mise en place d'un exemple concret d'implantation d'une étude réseau dans une municipalité québécoise ayant un réseau routier de petite envergure (50 kilomètres).

CHAPITRE 2

ÉLÉMENTS MENANT À LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE GESTION DES CHAUSSÉES

Un système de gestion de l'entretien des infrastructures se veut un outil d'aide à la décision basé sur une vision du processus d'entretien d'un réseau. Les éléments essentiels à la mise en place d'un système de gestion des chaussées permettent à l'utilisateur de prendre des décisions basées sur des modèles de dégradation tenant compte de certaines incertitudes. La planification, la conception, la construction, l'opération et l'entretien des routes dépendent largement des efforts de l'ingénieur à transmettre le désir d'améliorer concrètement le réseau routier.

Au fil des ans, la gestion de l'entretien des chaussées s'est grandement complexifiée avec l'intégration de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux dans la structure et la fondation de la chaussée. Pour venir à bout de cette nouvelle complexité, le gestionnaire des infrastructures doit recueillir et mettre à jour une grande quantité d'informations qu'il pourra consulter au bon moment, rapidement et de façon judicieuse. Cette complexité est d'autant plus grande si l'on considère les divers services mis en cause. Les besoins en réfection d'une conduite d'aqueduc, le surdimensionnement de l'égout sanitaire ou la construction d'un trottoir engendrent des interventions ponctuelles non sollicitées par un besoin de réfection de la chaussée.

Ainsi, un système intégré de gestion des infrastructures est extrêmement souhaitable voire nécessaire.

2.1 Un système intégré de gestion des infrastructures

La mise en place d'un système intégré de gestion des infrastructures nécessite la création d'une base de données dans laquelle prennent place les informations reliées aux différentes étapes de conception, de construction, de réhabilitation et d'entretien, de gestion et d'organisation.

2.1.1 Les données de conception

Au départ, il faut caractériser la nature des objectifs de la conception. Basée sur une prémisse lui accordant un long cycle de vie, la structure complexe de la chaussée doit satisfaire toutes les attentes, qu'elles soient politiques, sociales, culturelles ou économiques.

À part les conditions techniques de construction, le concepteur doit porter attention aux besoins de la circulation future, aux facteurs de sécurité et aux considérations économiques en regard des coûts d'entretien. Il devient très important que le concepteur connaisse bien le tissu social, c'est-à-dire les habitudes de vie particulières du secteur en développement afin de prévoir les services qui devront être mis en place subséquemment et anticiper les surdimensionnements de conduites et d'emprises de rue.

2.1.2 Les données de construction

Les données pouvant être recueillies lors de la construction sont essentielles afin de bien prévoir les scénarios de réhabilitation lorsque viendra le temps de l'entretien du réseau routier. Connaissant bien les sols en place et le type de construction, les méthodes d'auscultation et de

réhabilitation seront plus facilement identifiables et souvent moins coûteuses.

Du côté municipal, l'octroi de contrats à des firmes professionnelles ainsi que le processus de sélection des entrepreneurs responsables de la fourniture et de la mise en place des matériaux permettent très difficilement d'assurer une constance dans les méthodes de conception et de construction du réseau routier. Il devient primordial que le propriétaire des infrastructures se crée un historique de conception et de construction afin de bien connaître les paramètres qui guideront la mise en place des modèles de dégradation, qui sont l'essence même de la prévision des dégradations dans les systèmes de gestion des chaussées.

S'il est entendu que la vie d'une chaussée commence lors des travaux de construction, il est impératif de recueillir les informations pendant le déroulement de cette étape. Les caractéristiques des matériaux, des liants, les résultats de contrôles qualitatifs en chantier et en laboratoire sur les mélanges, les performances mécaniques et physiques ainsi que les conditions de mise en place doivent être colligés dans la base de données afin de créer le plus fidèlement possible les modèles de dégradation et d'effectuer le suivi du comportement de la chaussée en tenant compte de ses propres caractéristiques. Souvent appelé point zéro de la chaussée, cette étape permet une meilleure transition entre la période de construction, le début de l'exploitation et de l'entretien.

Le point zéro permettra de mettre en évidence l'homogénéité de la section en relevant les anomalies de construction pouvant causer des détériorations ponctuelles non applicables à la grandeur de la section. Avec ces informations, le diagnostic et la gestion seront grandement facilités.

2.1.3 Les données d'entretien et de réhabilitation

Les routes, comme tous les travaux civils, sont construites afin d'être opérationnelles et utilisables sur une longue période de temps. Ainsi, au cours de cette période de vie utile, il est impératif de bien faire la collecte et d'enregistrer les informations techniques pertinentes pour toutes les interventions faites sur les tronçons afin d'alimenter la banque de données et de modifier le modèle de dégradation identifié pour cette section de route. Sans l'entrée de ces informations dans le système de gestion, les propositions d'interventions sur le réseau ne correspondront plus aux réels besoins d'entretien. Ces informations sont vitales pour la planification des travaux de réhabilitation du réseau.

Au-delà de l'importance de l'historique de construction et des données requises lors de l'auscultation, il faut s'assurer qu'un module d'entretien est intégré dans le système de gestion. Une des principales qualités d'un tel système est sa capacité de créer différents scénarios d'intervention afin que le décideur limite les conséquences des travaux de reconstruction sur les activités socio-économiques. Un des aspects importants d'un système de gestion est son habileté à fournir non seulement des informations adéquates, appropriées et suffisantes mais également des orientations sur les conditions de dégradation présentes et à venir du réseau.

Les limites de l'entretien correctif :

Nul doute qu'il existe une limitation du nombre de réhabilitations d'une chaussée par des travaux d'entretien correctif avant qu'elle soit reconstruite. Cette prémisse est basée sur une période d'amortissement.

2.1.4 Les données de gestion et d'organisation

Un système de gestion intégré est basé sur la mise en commun de données pour lesquelles un comportement incertain est prédit. Pour sa part, un système d'aide à la décision permet de réduire l'incertitude lorsque des décisions doivent être prises entre l'état passé et les prédictions futures. La possibilité d'implanter un système simple et efficient met en évidence les concepts de planification macro et micro, soit les études réseaux et les études projets. Ces concepts sont discutés dans les prochains chapitres.

La gestion du réseau routier est guidée par les besoins des utilisateurs et la qualité en service que désire offrir le propriétaire des infrastructures. Il y a deux différents systèmes de support à la décision. Le premier concerne le temps présent. Il a une grande influence sur le contrôle journalier du trafic et très peu sur le programme de gestion de l'entretien routier parce que la planification de l'entretien d'un réseau n'est pas influencée par la variation journalière de la circulation. Le second, à long terme, est plutôt influencé par le développement socio-économique et le dynamisme de la région où se situent les tronçons à l'étude.

2.2 Un système d'aide à la décision

Le processus de recherche d'informations est un outil de mise à jour des données menant à la création d'une structure décisionnelle. Généralement, l'entrée d'informations techniques sur le réseau est un flot continu dépendant du degré d'exactitude demandé par l'utilisateur du système de gestion.

Trois sources principales d'informations sont généralement incluses dans un système d'aide à la décision :

- a. les données techniques provenant de l'état physique du réseau;
- b. la modélisation basée sur les modèles de dégradation quelquefois pratiques mais généralement théoriques;
- c. les connaissances basées sur le savoir de l'utilisateur.

Ces trois sources d'informations sont directement reliées aux opérations de bases des ordinateurs, soit l'entrée, la manipulation des données et le calcul. Il va de soi que la qualité des données couplée à des connaissances supérieures permettra à l'utilisateur d'obtenir des scénarios d'interventions qui seront plus adéquats.

Le système doit également être en mesure de qualifier et quantifier la source, la valeur, la fidélité, la nature et le style de données. De plus, il doit pouvoir différencier les stratégies à court et long termes et avoir une définition appropriée et précise du problème du tronçon ou de la section.

Le système d'aide à la décision doit incorporer les bases de connaissances en les combinant aux lignes directrices techniques qui guident les choix d'interventions.

L'objectif d'un système d'aide à la décision est de diminuer au minimum les incertitudes afin d'atteindre la solution optimale. Initialement, dès sa mise en place, le système sera alimenté d'un flot de données incomplètes et pratiquement inutilisables. Plus l'information technique sur le réseau sera disponible, plus il sera facile de créer les modèles de dégradation pratiques et de commencer à faire les analyses souhaitées. Évidemment, l'accroissement de l'efficacité du système est directement proportionnel à la quantité et la qualité d'informations mises à la disposition de l'analyste.

Le chapitre suivant introduit la notion d'étude réseau et expose les différents critères de sélection pouvant servir à identifier les éléments essentiels à la mise en place d'un système de gestion des chaussées. Ce chapitre aide le gestionnaire à retenir les critères permettant d'évaluer de façon qualitative et quantitative les tronçons de son réseau à l'étude. De plus, il traite de la création de la base de données afin d'associer à chacun des tronçons les informations pertinentes et nécessaires.

CHAPITRE 3

ÉTUDE RÉSEAU

Une des prémisses de base à laquelle il faut s'associer dans le cadre de l'utilisation d'un système de gestion des infrastructures routières est l'acceptation d'un mode de prévision probabiliste. Le système contribue de façon rationnelle à la résolution des problèmes de prévision de la durée de vie utile réelle d'une section à l'étude. Ainsi, le système tente de suivre l'évolution de la dégradation d'un tronçon de route soumis à la variation de plusieurs paramètres, dont un des plus importants est la circulation.

Plusieurs éléments sont essentiels à la mise en place d'un système de gestion des chaussées. L'étude réseau met en place les données essentielles à toutes analyses stratégiques d'interventions sur le réseau et elle permet d'avoir une image claire de la qualité du réseau routier à l'étude en regard des critères de performance que le gestionnaire aura retenu. De plus, l'identification de modèles de dégradations théoriques fait office de guide afin de prévoir le comportement probabiliste des chaussées du réseau routier. Il est important de souligner que toutes les prévisions sont faites à partir des informations disponibles au moment de l'analyse. Donc, la qualité des modèles de prédiction des dégradations et du système de gestion est directement reliée à l'exactitude des données composant la base de données.

3.1 La composition de la base de données

La base de données est composée de l'inventaire des rues et des tronçons et d'informations sur l'état de la chaussée, l'historique de construction, l'entretien ou la réhabilitation, la circulation et les coûts de construction et de réfection.

La création de la base de données se fait en quatre étapes appelées niveaux :

- a. le niveau 1 comprend les données nécessaires pour la codification;
- b. le niveau 2 regroupe les premières données techniques permettant l'évaluation de la section à l'étude au niveau réseau ;
- c. le niveau 3 contient les données permettant de diagnostiquer l'état de la structure de la chaussée à l'étude au niveau projet ;
- d. le niveau 4 donne des informations complémentaires pertinentes pour l'étude du tronçon, par exemple sur les bordures, les stationnements, les arrêts d'autobus et .

3.1.1 La codification du réseau (niveau 1)

La codification du réseau permet d'entrer dans le système les premières données pertinentes à l'élaboration de la base de données. L'inventaire, la condition de la chaussée, l'historique de construction, d'entretien et de réhabilitation, les données sur la circulation ainsi que les coûts de construction et de réhabilitation conduiront à la mise en place de la structure de base du système de gestion.

L'inventaire :

Lorsque plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres de routes font l'objet d'une étude réseau, la segmentation en tronçons et sections est

souhaitable. Généralement homogènes, les sections et tronçons seront préalablement considérés comme autonomes et distincts pour l'entrée de données. La programmation d'interventions tiendra évidemment compte du lien entre chaque tronçon et section.

Il est possible, même souhaitable, que les tronçons soient initialement regroupés par quartier, par district ou séparés par voies naturelles (par exemple des cours d'eau et des montagnes) ou artificielles (comme des voies de chemin de fer et des autoroutes). Si le réseau routier est séparé en différents secteurs, ces informations peuvent aussi être incluses dans la base de données. Ces informations peuvent devenir importantes si l'analyse est faite en fonction de certaines contraintes. Par exemple, les secteurs peuvent être séparés en fonction des responsables de différents travaux d'entretien ou par districts électoraux. Les rues peuvent aussi être séparées en fonction de leur classification fonctionnelle (principale, secondaire, collectrice) ou en fonction de la réglementation (industrielle I-1, I-2 ou commerciale).

Un tronçon est un segment de rue compris entre deux intersections et ayant moins de 500 mètres de longueur. Dans le cas où l'absence d'intersection crée un tronçon trop long, il est préférable de séparer le segment de rue en longueurs égales (ex : 2 * 350 m plutôt que 500 m et 200 m).

Selon PMS (1996), l'inventaire permet d'obtenir des informations de base sur les rues du réseau. Pour créer cette base de données, il est recommandé de donner à chacune des rues de la base un numéro de rue. Une rue peut être séparée en tronçons et dans certains cas en sections (tableau 3.1).

Tableau 3.1

Exemple de numérotation des tronçons de rue

No de rue	Tronçon rue	Nom de rue	De	À
1	1	Principale	Adams	Élizabeth
1	2	Principale	Élizabeth	Claude
1	3	Principale	Claude	Ariane
2	1	Grande-Allée	Yves	Lorraine

Les informations sur la géométrie de la route incluent la longueur, la largeur et le nombre de voies. Ces informations sont utiles lorsque les données reliées à la circulation et à la construction sont traitées.

L'historique de construction, d'entretien et de réhabilitation :

Pour l'historique de construction, la base de données doit inclure les informations à jour sur la construction, les méthodes de construction, les données structurales et toutes les informations reliées aux travaux effectués sur le tronçon à l'étude. La section point zéro, c'est-à-dire le moment où commence les travaux de construction, permet d'emmagasiner les informations pertinentes avant la mise en service de la chaussée.

Les données de la section point zéro permettent de faciliter l'identification des problématiques amenant à la sélection des méthodes de réhabilitation. À cet effet, il est important d'obtenir le plus d'informations

possibles lors des travaux de construction. Ainsi, la section point zéro, devant se situer au niveau 3, comprend les informations relatives à :

- a. la compacité moyenne obtenue sur le chantier;
- b. l'épaisseur moyenne des différentes couches;
- c. la teneur en fines et en liants;
- d. les caractéristiques de la surface tels rugosité et uni;
- e. les usines de fabrication et la provenance des matériaux.

Au moment de l'implantation, rares sont les organismes possédant une information aussi précise de l'état de construction de leurs chaussées. Cependant, des recherches permettent aux gestionnaires, désireux de se servir de ces données, de trouver l'information auprès des concepteurs ou du maître d'œuvre au moment de la construction. Dorénavant, la possibilité de recueillir ces informations sera profitable surtout si le système de gestion des chaussées à mettre en place est muni d'un volet appelé système expert.

Les données sur la circulation :

Dans le cas de la circulation, les données permettent de faire des analyses au niveau de la structure de la chaussée et de sa détérioration. Il devient intéressant de posséder des informations sur l'évolution de l'achalandage et les caractéristiques des utilisateurs du tronçon (section 3.1.3).

Les coûts de construction et de réhabilitation :

L'objectif de cette étape est de permettre au système d'évaluer les sommes à investir lorsque l'analyse prévoit des travaux sur différents

tronçons. Cette section permet d'induire des informations relatives aux coûts de construction dans le but d'estimer le coût des travaux de reconstruction ou d'entretien correctif. Les valeurs sont généralement entrées en dollar/ mètre carré et peuvent être utilisées pour calculer le coût spécifique de chaque tronçon de rue pour laquelle on prévoit des travaux au cours de la période d'analyse. Cette étape ne sera pas traitée dans le cadre de ce travail car elle ne fait pas partie des éléments essentiels à la mise en place d'un système de gestion des chaussées.

3.1.2 Les indicateurs de performances (niveaux 2 et 3)

La mise en place des éléments nécessaires d'un système de gestion d'un réseau routier passe par la création et l'utilisation d'indicateurs représentatifs de la qualité en service de la chaussée. Basés sur des indicateurs physiques, mesurables et/ou identifiables, les indicateurs créés doivent aussi être raisonnablement adaptés aux besoins d'analyses. De ce fait, les coûts reliés à l'acquisition des données ainsi qu'à la fiabilité et à la reproductibilité des informations recueillies doivent respecter les sommes disponibles pour faire tous les relevés nécessaires à la création de la banque de données. La périodicité des relevés est également une donnée importante lors de l'acquisition des données. Elle est fixée d'après la fonction des rues auscultées. Plus il y aura d'auscultations, plus les modèles de dégradations seront fidèles aux conditions de détérioration de la chaussée et de sa structure.

Afin de dimensionner convenablement les chaussées, plusieurs théories se croisent. La théorie des systèmes multicouches pour les chaussées flexibles en est une. Cette théorie se base sur l'identification d'indicateurs

de performances tels que la distribution des contraintes, l'indice de fatigue et le calcul des ornières.

Plusieurs phénomènes sont à la base de la dégradation des chaussées, dont :

- a. la rupture par fatigue sous flexion répétée;
- b. les ornières causées par le poids des véhicules;
- c. la sensibilité à l'eau;
- d. l'exposition aux cycles de gel/dégel;
- e. le comportement des sols supports;
- f. les contraintes thermiques.

Les indicateurs de performances permettront à l'utilisateur de pouvoir classer les tronçons en ordre décroissant de leur état de dégradation, soit de la pire à la meilleure condition. Il devient donc très important de retenir les meilleurs indicateurs de performances afin de s'assurer que les informations obtenues soient les plus pertinentes possible pour la mise en place du système de gestion de chaussées.

Certaines études de l'AASHTO (AASHTO, 1998) ont démontré que si on arrive à prédire séparément les défauts propres à un tronçon, le processus de design d'une chaussée flexible peut être optimisé de façon à rencontrer les besoins spécifiques du propriétaire. Ainsi, si pour un projet donné, les fissures en rives constituent le type de dégradation le plus préoccupant, il est possible de concevoir la chaussée de façon à minimiser l'apparition de cette dégradation spécifique, tout en vérifiant que n'apparaîtront pas, dans la vie utile de la chaussée, de niveaux inacceptables de fissurations thermiques, de rugosité ou de fissurations transversales.

Il est même possible de générer des concepts différents pour chacune des dégradations spécifiques (i.e. fissurations thermiques, déformations permanentes, fissurations de fatigue et rugosité). Ce procédé permet au propriétaire d'obtenir un concept relativement optimal, tout en lui assurant une flexibilité maximale.

Pour une organisation municipale, la cote visuelle est un indicateur important de l'état de dégradation en surface. Cet indicateur est la base des systèmes de gestion VIZIR et PAVER discuté au chapitre un. De plus, le confort au roulement et la capacité portante de la structure de chaussée sont des informations utiles à l'analyse. Plusieurs autres indicateurs peuvent être mis à contribution dans l'analyse, c'est le cas entre autres du calcul des ornières. De plus, certains indicateurs tels le nombre et la gravité des accidents, tel qu'exposé dans le chapitre un dans la section traitant du système HDM-4, peuvent avoir une influence sur les stratégies de réhabilitation.

3.1.2.1 Les dégradations de surface

L'évaluation visuelle de l'état du réseau, soit la cote visuelle, est basée sur la localisation, la séquence et la sévérité des défauts de surface. La quantité et l'ampleur des fissures et des trous dans la chaussée indiquent un niveau de qualité faible et une capacité portante réduite. Ces données sont traitées de façon statistiques et générales. Il importe peu de connaître la localisation, mais plutôt le nombre, le type et la sévérité des fissures sur un intervalle donné.

L'apparition de fissures fait croître l'attention du gestionnaire sur la section qui en possède. C'est évidemment le premier signe de dégradation diagnostiquée visuellement par l'utilisateur. Étant donné son caractère destructif, la progression du patron de fissure doit être limitée afin d'éviter un accroissement des coûts d'entretien sur une courte période.

Jusqu'au début des années 1990, les procédés utilisés pour relever les dégradations superficielles de la chaussée faisaient partie d'un traitement visuel généralement qualitatif. Rapidement, le volet quantitatif a pris une grande importance. Afin d'améliorer la qualité des relevés, surtout au niveau de la répétabilité et de la reproductibilité, en plus de tenter d'en diminuer les coûts, plusieurs groupes de recherche se sont attardés sur l'automatisation d'une partie de ces relevés. Ainsi, des outils de reconnaissance et de détection automatique ont vu le jour depuis quelques années et permettent de faire les relevés par vision artificielle. Différents systèmes de gestion des chaussées se servent de cette technologie pour recueillir de l'information. C'est le cas des systèmes SAGER et MACADAM (chapitre 1).

Les appareils de relevés visuels disponibles les plus connus sont :

- a. l'analyseur ARAN;
- b. l'analyseur ARIA;
- c. le système PASCO;
- d. le testeur 3000;
- e. le véhicule VIV;
- f. le système WiseCrak;
- g. le système Géofit.

Certains de ces systèmes ou véhicules peuvent relever plusieurs caractéristiques de la chaussée en plus d'informations pertinentes se retrouvant dans l'emprise de rue. Par contre, le coût élevé de fabrication et d'utilisation de ces véhicules limite leur utilisation par les gestionnaires.

Les principaux défauts relevés concernant la propagation des fissures sont les fissures transversales, les fissures longitudinales (en trace de roues, de centre, de rives, en milieu de voie), les fissures polygonales, les lézardes, les joints transversaux, les joints longitudinaux, les fissurations en peau d'alligator, le carrelage, les arrachements et la pelade.

Selon Bergeron (1999), les types de fissures sont soit simples (ex. fissure transversale), soit maillés (ex. carrelage). La progression de la fissure sur une longue période peut être reliée à plusieurs modes de dégradations.

Selon Kali (1999), trois indices de la dégradation de surface sont généralement utilisés :

- a. le PSI (Present Serviceability Index) : est un indice développé dans le cadre des études de l'AASHTO. C'est une approximation de la valeur assignée à la chaussée par un groupe d'évaluateurs sur une échelle de 0 à 5;
- b. le PCI (Pavement Condition Index), développé par l'armée américaine, présente une mesure des 19 défauts de surface retenus portés sur une échelle de 0 à 100. Le PCI permet d'identifier les alternatives d'entretien et de réhabilitation;
- c. le VCI (Visual Condition Index) ou RCI (Roughness Condition Index). Ces deux indices, basés sur une échelle de 0 à 10, sont

utilisés au Canada et sont fonction du poids donné aux défauts lors des observations. Ces indices sont portés dans la formule de l'Indice de Qualité des Chaussées (IQC) et permettent de programmer les travaux d'entretien et de réhabilitation.

Les relevés visuels, lorsque faits manuellement par des techniciens, peuvent être exécutés selon deux méthodes :

- a. électroniquement en utilisant en chantier un ordinateur portable, permettant d'enregistrer, directement dans la base de données, les informations sur les déformations (figure 3.1). Cette méthode requiert un transfert de données dans la base de données maîtresse une fois les relevés terminés;

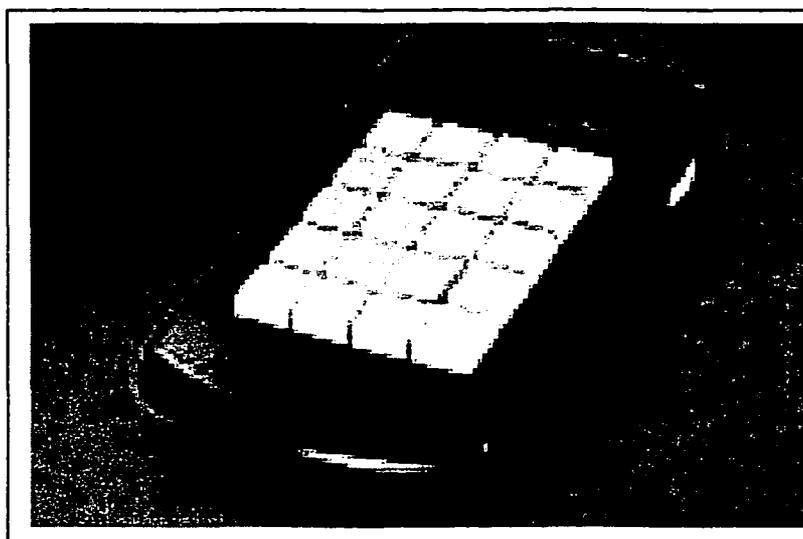


Figure 3.1 Clavier de Romdas
(www.romdas.com).

- b. manuellement en notant les déformations en chantier et en procédant à l'incorporation des résultats dans la base de données

au bureau. Pour accélérer le processus il est possible d'imprimer les informations générales sur les routes à évaluer et de compléter les formulaires au fur et à mesure de l'avancement des relevés.

Lorsque fait manuellement, l'identification des dégradations de surface se mesure à l'aide d'une cote visuelle. La cote visuelle est une valeur subjective, se situant de 0 à 10 avec un incrément de 0,1, donnée à la section de la route et basée sur les dégradations de l'état de la chaussée. Plus la valeur est élevée, meilleure est la condition du tronçon. Dans la plupart des cas, une série d'équations est mise en place par les autorités compétentes afin de pondérer l'influence des différentes dégradations et d'estimer une valeur de la cote visuelle.

Les alternatives de réhabilitation sont basées sur le degré de sévérité et de densité des dégradations de surface. Lorsque le problème est identifié, l'indice de sévérité permet d'en évaluer la gravité de façon qualitative et parfois quantitative. Cette échelle est basée sur les expériences passées et prend la forme présentée au tableau 3.2.

La densité, comme la sévérité, possède une échelle afin de décrire l'état de l'ampleur du problème. Ainsi, la fréquence ou la répétition sont notées quantitativement de la façon présentée au tableau 3.3.

Tableau 3.2

Échelle de sévérité

<u>Degré</u>	<u>Sévérité</u>
0	absent
1	très peu
2	peu
3	modéré
4	sévère
5	très sévère

Tableau 3.3

Échelle de densité

<u>Degré</u>	<u>Densité</u>	<u>% de la surface</u>
0	Aucune	0 %
1	peu	<10 %
2	intermittent	10-20 %
3	fréquent	20-50 %
4	beaucoup	50-80 %
5	à la grandeur	>80 %

L'effet de la température sur la prise de données :

Il est permis de se questionner sur l'effet de la variation de la température sur le relevé des fissures. De récentes études ont été effectuées

afin de voir si la période de relevé et les conditions météorologiques ont une influence notable sur la prise des données concernant le patron de fissure de la chaussée.

Lors d'une étude sur les effets de la variation de la température sur les fissures, Larivée (1999) expose l'hypothèse que le revêtement ne reflète pas la vraie sévérité des fissures. Les principes physiques de base du comportement de la chaussée rappellent que l'enrobé bitumineux se dilate en milieu chaud et tend à se contracter en présence de températures froides. Ainsi, dans un environnement favorable à sa dilatation, lors de temps chaud, le mélange bitumineux tendra à refermer la fissure. En temps froid, il se produit le phénomène inverse. Dans les deux cas, l'évaluateur aura tendance à surestimer ou sous-estimer la densité et la sévérité de la fissure.

Évidemment, cette hypothèse est valide dans le cas où il n'y a pas d'autres facteurs indépendants qui interviennent entre les périodes de variations de température. D'ailleurs, l'évolution du comportement des fissures est grandement influencée par des facteurs externes tels que le vieillissement du bitume, la circulation et l'épaisseur de l'enrobé.

Afin de s'assurer d'une régularité des relevés de fissuration, il est préférable d'effectuer les suivis sur les mêmes périodes de l'année (même mois), ce qui aura pour effet de favoriser une évaluation comparative plus judicieuse.

Dans le cas d'une corporation municipale, la meilleure période est définitivement le printemps. Cette période du calendrier permet d'optimiser la quête et le cheminement des données afin de permettre aux gestionnaires

de programmer les travaux sur l'année 1 du programme d'entretien des chaussées dès la préparation et l'adoption des enveloppes budgétaires.

3.1.2.2 L'évaluation du confort au roulement

Le confort au roulement s'évalue à l'aide du profil longitudinal qui caractérise les ondulations à ondes courtes. Le profil longitudinal de la route a un effet sur le confort au roulement, la consommation d'essence et peut causer des dommages aux véhicules.

La variation du profil longitudinal cause une surcharge dynamique sur le poids statique de la roue et, de ce fait, accroît la détérioration de la route. Ce cycle est le début d'une détérioration qui s'accroît avec le passage des véhicules dont la surcharge dynamique augmente avec le temps.

Le profil est mesuré à l'aide d'un accéléromètre. Au fil du déplacement de l'appareil le long de la section, l'accéléromètre mesure le mouvement vertical du véhicule par rapport à sa position stationnaire. L'essai se fait à des vitesses allant de 30 à 90 km/h. L'indice ainsi calculé est l'indice de rugosité internationale (IRI). La mesure obtenue, en m/km, est devenue, pour la mesure du profil en long, un standard commun de comparaison.

L'indice IRI a été développé lors de l'Expérimentation Internationale de Rugosité des Chaussées (IRRE) conduite par la Banque Mondiale au Brésil en 1982. L'IRI est défini comme étant la pente moyenne corrigée d'un profil traversé par un véhicule de référence particulier circulant à 80 km/h. La pente corrigée du profil est simplement la mesure de l'accumulation des réponses de la suspension du véhicule traversant le profil.

D'autres appareils peuvent être utilisés afin de mesurer le profil en long d'un tronçon de route. C'est le cas en Belgique et en France où l'appareil APL (Analyseur de Profil en Long) permet de mesurer l'irrégularité de surface d'une longueur d'onde de 1 m à 50 m. La figure 3.2 montre un croquis de l'appareil APL conçu par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

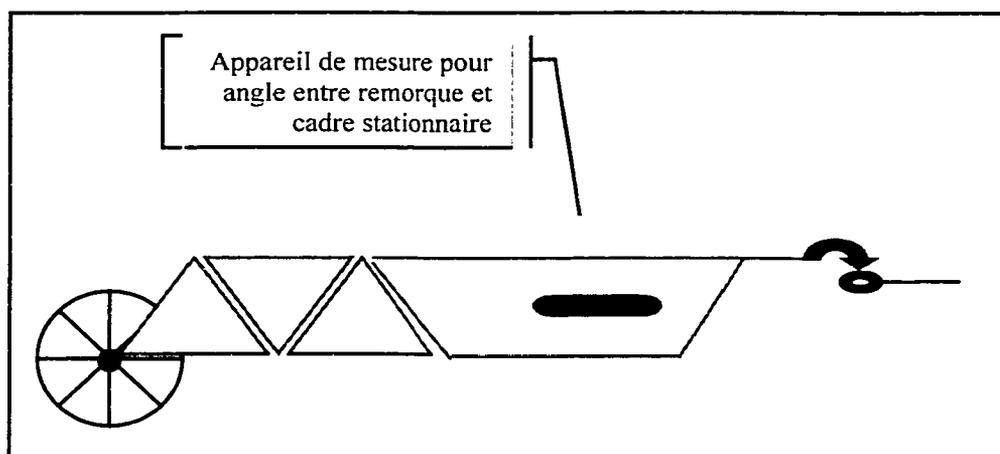


Figure 3.2 Analyseur de profil en long (APL).

Pour sa part, le profileur d'incrémentation numérique Dipstick permet de mesurer la différence d'élévation entre deux points de contacts espacés de 300 mm. Malgré que cet instrument de mesure soit assez lent, les données qu'il fournit ont un niveau de précision élevé.

L'appareil de l'entreprise Romdas est également bien adapté pour ce type de relevé (figure 3.3).

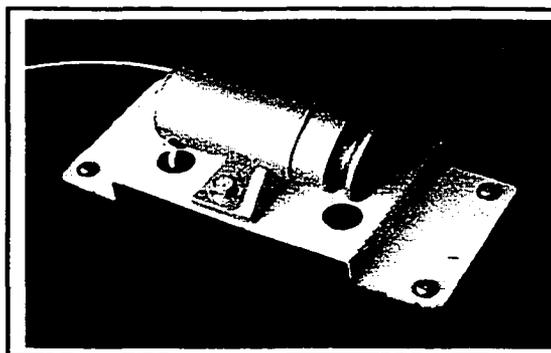


Figure 3.3 Appareil de Romdas
(www.romdas.com).

3.1.2.3 L'étude des ornières

La formation d'ornières (mesure de l'uni transversal) a une incidence directe sur la sécurité des utilisateurs. Il y a généralement deux types d'ornières, soit celles à faible rayon et celles à grand rayon (figure 3.4).

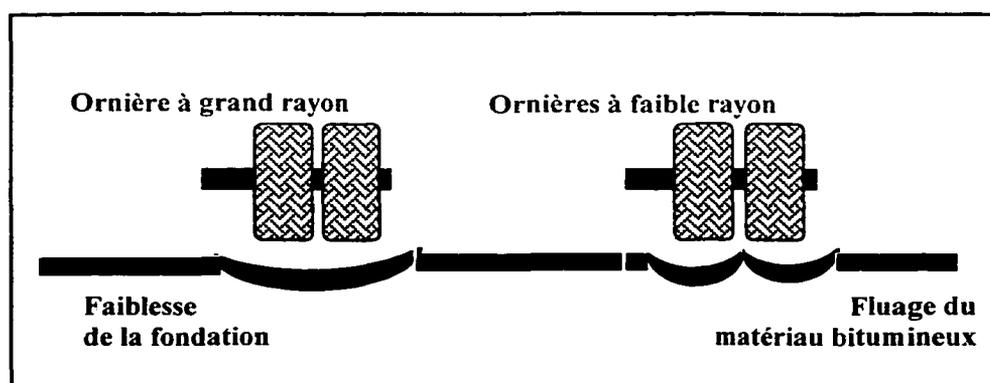


Figure 3.4 Types d'ornières.

L'ornière est une déformation permanente induite dans l'épaisseur de la couche bitumineuse par le passage répété des charges de la circulation.

Souvent reliée au fluage du matériau, l'ornière à faible rayon est calculée en fonction d'une distribution des températures et des charges du trafic. Pour leur part, les ornières à grand rayon sont plutôt caractérisées par un tassement du sol support ou de la fondation sous l'influence du passage de charges lourdes. La mesure de ce défaut peut être faite à des vitesses variant de 10 à 90 km/h.

Le calcul des ornières est une étape importante de l'identification de la cause et de l'apparition des défauts. Il permet :

- a. de mettre en évidence l'apport de chaque couche à la déformation totale compte tenu des caractéristiques de fluage de chaque type d'enrobé utilisé;
- b. de conceptualiser une réhabilitation tenant compte de la performance en fluage des couches inférieures et de prévoir, le cas échéant, l'utilisation d'enrobés modifiés;
- c. d'étudier la sensibilité de l'orniérage en regard des facteurs externes tels que l'agressivité du trafic et la température.

L'ornière est mesurée, dans certains pays, par l'orniéromètre mécanique ou au laser. Cet appareil permet, outre la mesure de la profondeur maximale sur le travers de la route, d'évaluer la pente transversale et la largeur des taches d'eau éventuelles.

Selon Langlois (1997), la résistance des enrobés à la formation d'ornières est directement influencée par l'angularité des granulats, la présence de vides dans le mélange, la proportion pierre-sable dans l'enrobé ainsi que la qualité et la quantité de liant présent dans le mélange. De plus, la résistance à la formation d'ornières augmente si le liant possède une

consistance élevée, si les vides dans l'enrobé sont élevés et si les vides comblés par le bitume sont faibles.

Les ornières peuvent être mesurées manuellement ou à l'aide de capteurs installés sur un véhicule. La figure 3.5 montre les données recueillies par un véhicule muni de cinq capteurs prenant des lectures de façon séquentielle et mises en commun par la suite.

3.1.2.4 L'étude sur la portance

La portance est la capacité qu'ont la chaussée et sa structure de recevoir des charges sans subir de déformation permanente. La perte de portance de la chaussée dépend essentiellement des déformations dans les matériaux des différentes couches.

Des essais destructifs, comme la prise d'échantillons tels que des carottes d'asphalte et de sol, peuvent être conduits afin de faire des analyses de laboratoire sur les divers matériaux récupérés. Pour ce qui est des essais non destructifs, quelques appareils permettent d'obtenir des données pour fin d'analyse de la portance :

- a. l'essai à la plaque;
- b. la poutre Benkelman;
- c. le Dynaflect;
- d. le déflectomètre à boulet (FWD).

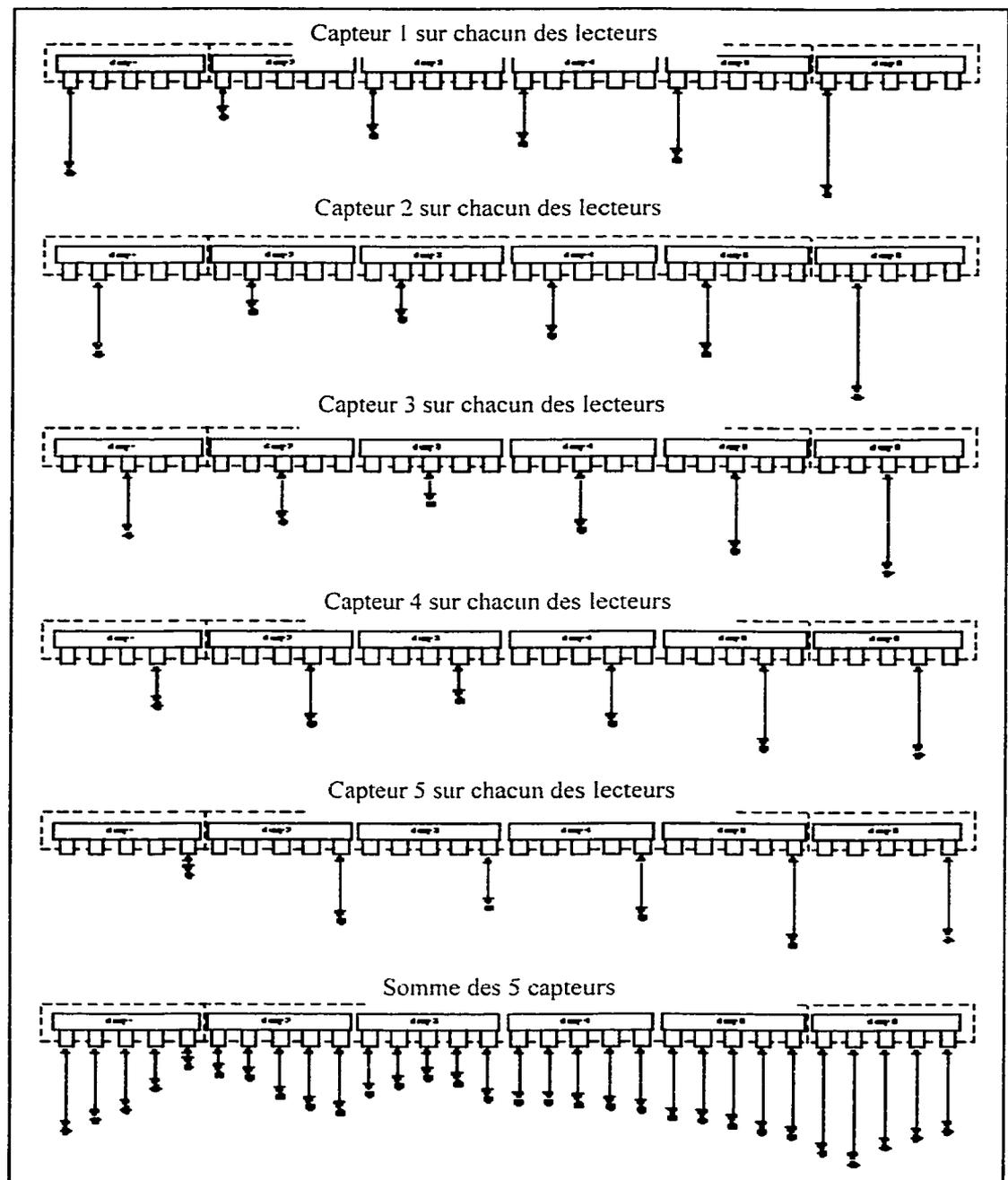


Figure 3.5 Positionnement des capteurs de l'appareil Romdas
(Adapté de <http://www.romdas.com>).

L'essai à la plaque, pratiquement plus utilisé, consiste à mesurer, à l'aide de micromètres stratégiquement répartis sur un levier distant d'un support, la déflexion causée par l'application d'une charge sur une plaque circulaire.

L'essai à la poutre Benkelman permet de mesurer, toujours à l'aide de micromètres, la déflexion causée par le passage d'un camion chargé. La mesure est prise au droit des roues à l'aide d'un pointeau. L'essai consiste à mesurer la différence de profil de la chaussée sollicitée par l'application d'une charge axiale de 18 000 livres. Si la déflexion est faible, la capacité portante est élevée. Développé par WASHO Road Test, cet essai a été grandement utilisé par les gestionnaires d'autoroutes américains.

Le Dynaflect sert également à mesurer la capacité d'une route à supporter des charges. Cet essai, non destructif, consiste à enregistrer à l'aide de 5 géophones installés à intervalles précis les réponses des oscillations induites à la chaussée et produites par des impulsions transmises par l'appareil (figure 3.6). Cet essai peut également donner une indication de la courbure de la surface afin d'en faire une analyse structurale.

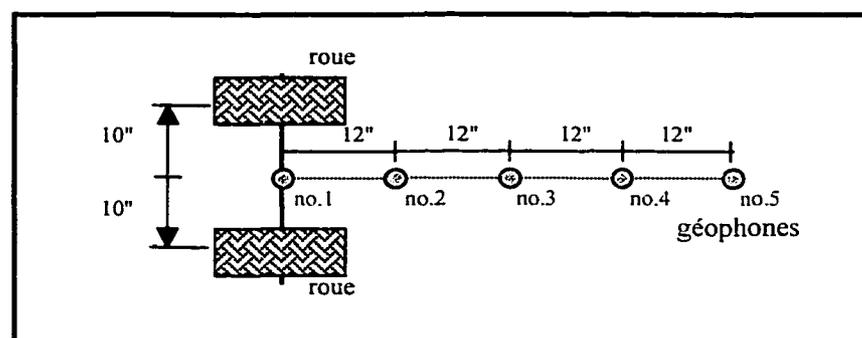


Figure 3.6 Positionnement des géophones du Dynaflect.

L'appareil FWD (Falling Weight Deflectometer), déflectomètre à boulet, mesure et enregistre les déflexions de la chaussée correspondant au passage d'un essieu normalisé simulant l'action de véhicules de différents poids. En somme, cette évaluation permet d'identifier les chaussées faibles et particulièrement celles qui ne peuvent supporter la circulation anticipée sans se dégrader rapidement (Metropolitain Toronto Department of Roads and Traffic, 1990).

Le FWD exerce une charge impulsive similaire en envergure et en durée à celle d'une roue chargée qui avance. Cet instrument peut reproduire des charges variant de 20 à 50 kN d'une durée d'environ 30 ms. Ce type de charge impulsive est appliqué à la surface de la chaussée en laissant tomber une série de poids sur un système amortisseur dont la déflexion résultante de la chaussée est mesurée par neuf capteurs sismiques espacés à des intervalles prédéterminés de la plaque de chargement (figure 3.7).

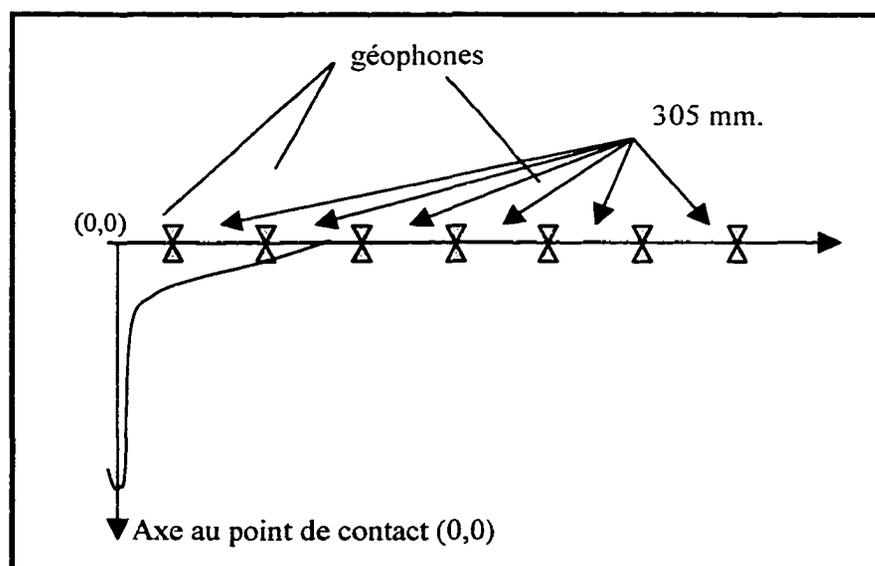


Figure 3.7 Positionnement des géophones du FWD.

Les mesures de la poutre Benkelman, utilisées depuis plusieurs années, tendent à être remplacées par l'appareil de mesure FWD. Les données recueillies permettent d'effectuer une analyse structurale de la chaussée basée sur la déflexion générale et utilisent une procédure de dimensionnement par resurfaçage modifié de l'Asphalt Institute.

Par cette procédure, l'épaisseur d'enrobé bitumineux requise pour supporter les charges de la circulation peut être déterminée en se basant sur les mesures de déflexion et l'Équivalent de Charge Axiale Simple (ECAS) de dimensionnement. Le FWD permet non seulement de définir les paramètres de déflexion mais également, à l'aide des maximums atteints, facilite la conception du bassin de déflexion qui se trouve à être une donnée essentielle pour l'identification des modèles prédictifs et, ainsi, des méthodes et des besoins en réfection. Cet essai entraîne une meilleure observation de la distribution de la charge sur la surface de la chaussée en fonction de la distance de captage de la résonance.

Les résultats de déflexion permettent de suivre l'évolution d'une route du point de vue de la déformation et de l'influence des compositions sur le corps de la chaussée et favorisent l'établissement des renforcements requis pour augmenter la durée de vie utile de la chaussée.

3.1.2.5 La texture de la surface

Les caractéristiques structurales d'un revêtement sont des mesures de surface de l'enrobé permettant d'évaluer l'influence des propriétés du granulat sur le drainage et la friction. La macro texture est le macro relief donné par le granulat à la surface du revêtement (figure 3.8). Elle dépend de la taille, de la forme et de l'angularité des granulats. La micro texture, pour

sa part, est définie par les micros aspérités qui sont présentes à la surface du revêtement. Elle est influencée par la minéralogie et la texture cristalline des granulats.

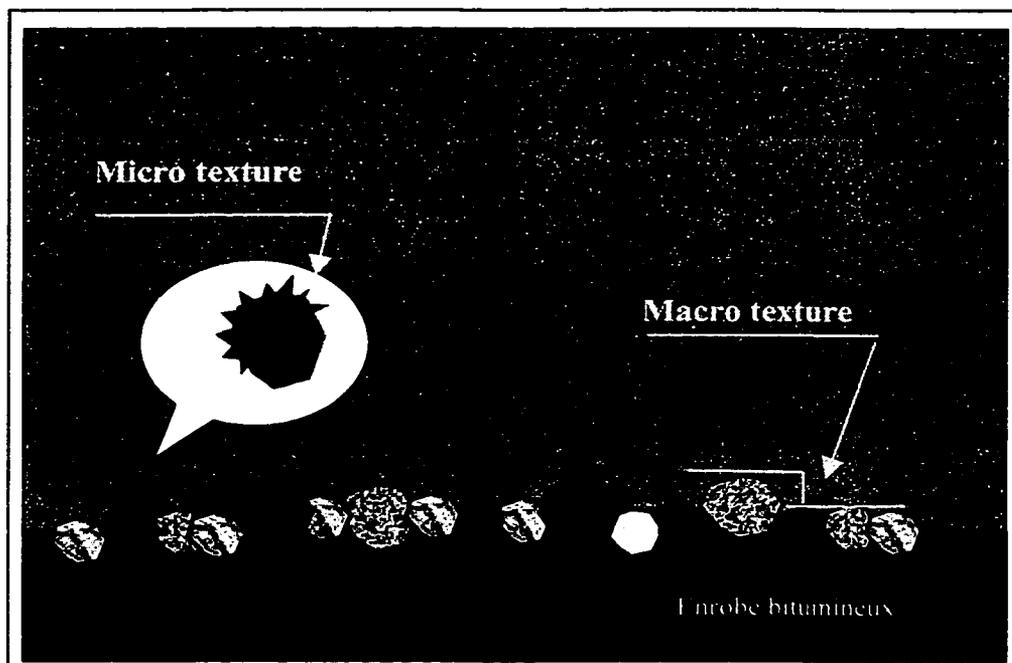


Figure 3.8 Notion de texture.

D'ailleurs, les principales données sur la "résistance au dérapage" proviennent de la macro texture. Évidemment, la macro texture influence également la consommation d'essence et surtout le bruit engendré par le passage des véhicules. Les différentes textures du revêtement sont :

- a. micro texture, entre 0,005 et 0,2 mm;
- b. macro texture fine, entre 0,2 et 10 mm;
- c. macro texture épaisse, entre 10 et 100 mm;
- d. méga texture, entre 100 et 500 mm.

Cette information est très pertinente sur les chaussées recevant un débit circulant à grandes vitesses. Pour les sections et tronçons dont la vitesse permise est en deçà de 70 km/h, les données ayant trait à la rugosité sont moins utiles. Le rugolaser est un appareil de relevé non destructif pour la mesure de la macro texture.

Parmi tous ces indicateurs de performance, le gestionnaire doit retenir ceux répondant à ses objectifs d'identification des divers défauts. Plus le gestionnaire retiendra d'indicateurs, plus il sera en mesure d'obtenir d'informations sur l'état de dégradation des tronçons à l'étude et pourra identifier les causes de la présence des défauts. De cette façon, il sera plus facile de proposer des méthodes et techniques de réhabilitation relatives à la correction des anomalies rencontrées sur le réseau.

3.1.3 Les informations supplémentaires (niveau 4)

Il existe différentes méthodes de calcul visant à obtenir une indication du nombre et du type de véhicules circulant sur la chaussée sous évaluation. Le concept le plus répandu est basé sur une approximation du débit journalier moyen annuel appelé le DJMA. Ce dernier peut par la suite être converti en équivalence de charge axiale simple appelée ECAS.

À l'aide d'équations simples, ces méthodes de calcul permettent, entre autres, d'identifier un nombre structural pour conceptualiser une route lors de sa construction ou de sa réhabilitation. Le «design traffic number» (DTN) est utilisé afin de déterminer le nombre total d'ECAS que peut recevoir une route pour la période en service identifiée lors de sa conception.

3.1.3.1 Le Débit Journalier Moyen Annuel (DJMA)

Le Débit Journalier Moyen Annuel est la moyenne sur 24 heures, dans les deux directions, de la circulation sur une année entière et sur un tronçon donné. Plus l'agressivité de la circulation se fait sentir sur la structure de chaussée plus le DJMA est élevé. Ainsi, il est important de connaître avec justesse le nombre et le type de véhicules circulant sur les sections à l'étude. Par exemple, il est important de pondérer l'agressivité que cause un véhicule lourd chargé contrairement au passage d'une voiture conventionnelle.

Également, l'indice d'accroissement permet d'anticiper la variation de la circulation pour la durée prévue pour la conception de la chaussée. L'indice d'accroissement est le pourcentage par lequel la circulation est présumée croître à chaque année. Il est basé sur l'accroissement passé ainsi que sur le développement futur.

De plus, le calcul du DJMA tient compte du nombre de jours estimés par année où les camions et les autobus circulent sur la route. Cinq jours par semaine équivalent à 260 jours/année et six jours par semaine équivalent à 312 jours/année.

3.1.3.2 L'Équivalent de Charge Axiale Simple (ECAS)

Le concept du Facteur d'Équivalence de Charge (FEC) est utilisé comme une mesure de l'effet du dommage relatif créé par un large spectre de charges axiales appliquées sur la chaussée. Selon SHRP (1994), le Facteur d'Équivalence de Charge standard de l'AASHTO correspondant à une charge axiale de 80 kN (8,2 tonnes ou 18 kips) est de 1,0. Les charges axiales supérieures ou inférieures à 80 kN ont une valeur de FEC respectivement

supérieure ou inférieure à 1,0. La plupart des méthodes de dimensionnement structural des chaussées sont basées sur l'ECAS total.

Depuis la divulgation des récents résultats de recherches des programmes SHRP et C-SHRP aux États-Unis, le ministère des Transports du Québec tend à tenir compte du nombre d'ECAS dans le dimensionnement de ses chaussées. Cette donnée, comme le DJMA, est très importante afin d'améliorer les méthodes de dimensionnement des chaussées flexibles.

Ainsi, cette valeur d'ECAS obtenue donne une indication du nombre de véhicules, ou passages, que peut recevoir la chaussée tout au long de la période en service prévue lors de sa construction.

3.2 La création de modèles de dégradation

Un système de gestion est un outil possédant de larges capacités d'optimisation des dépenses à long terme et permet, à l'aide de modèles de dégradation, de prévoir l'état futur du réseau routier. La création de modèles de dégradation sert à prévoir l'entretien global du réseau, à tester l'effet sur l'état futur de différentes stratégies d'entretien et à évaluer financièrement les niveaux de service désirés. La figure 3.9 montre un schéma de quelques courbes prédictives en fonction des différentes réhabilitations possibles sur la section à l'étude.

La création de modèles prédictifs du comportement à venir de la dégradation de l'état de la chaussée est l'aspect le plus important de la mise en place d'un système de gestion de chaussée. Toute la difficulté de la mise en place d'un tel outil relève de la création de modèles basés sur des lois prédictives spécifiques au réseau à l'étude. La détermination des lois évolutives des dégradations des chaussées est la base du succès d'un tel système de gestion.

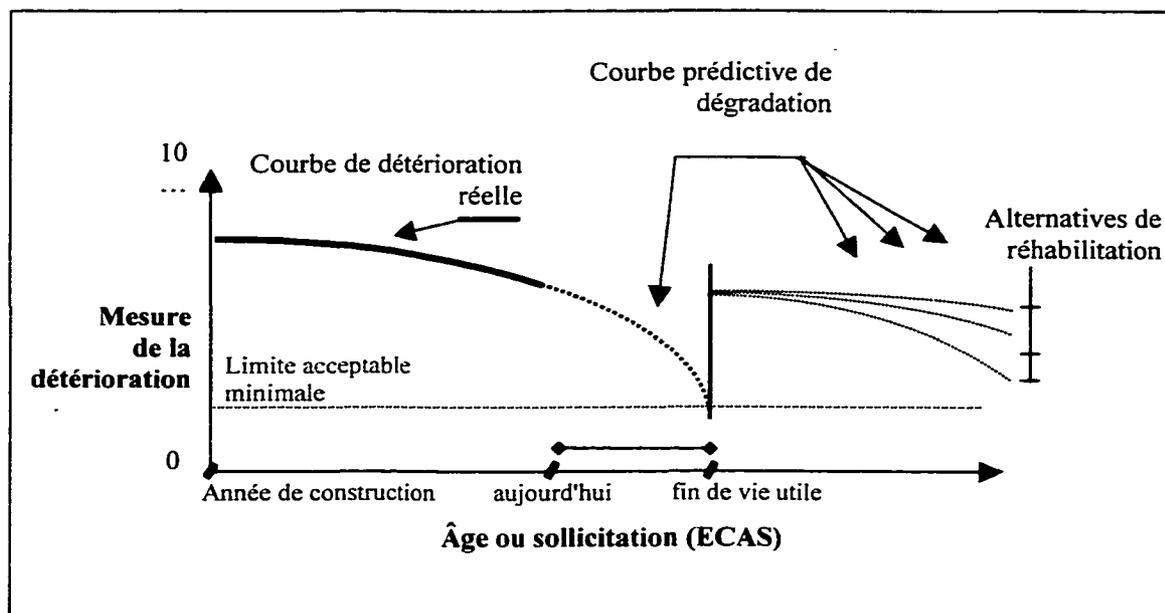


Figure 3.9 Courbe prédictive de comportement
(Adapté de Haas et al., 1994).

L'application des lois évolutives permet d'estimer, en l'absence d'interventions d'entretien sur le réseau, son évolution naturelle. Il est à noter que la fiabilité des lois générales est mise en doute étant donné les différentes méthodes de conception et de construction appliquées dans les diverses collectivités. De plus, la variation des comportements des matériaux est fonction du climat et de la circulation. Elle commande donc une attention particulière lors de la création des modèles.

Ainsi, la détermination des lois évolutives doit se faire à partir du suivi des tronçons sur plusieurs types de réseaux et, si possible, sur une longue période. La connaissance des chaussées sur une longue période est essentielle afin de mettre en place des modèles réalistes et représentatifs du milieu dans lequel évolue l'état du réseau. L'homogénéité, lors du choix des tronçons à mettre à l'étude, est très importante. Les modèles de comportement ne sont généralement valables que pour

les sections ayant des attributs similaires. Évidemment, il y a des modèles prédictifs qui existent dans divers pays. Mais les modèles applicables doivent tenir compte des conditions réelles de sollicitations que doivent subir la chaussée et sa structure.

Étant donné que les investissements les plus significatifs sont reliés à la structure de la chaussée, le modèle le plus important est celui associé aux conditions structurales de la chaussée. L'entretien le plus dispendieux est celui fait au niveau de l'infrastructure de la rue. Pour calculer la vie utile ou résiduelle d'une chaussée, il faut calculer les contraintes ou déformations critiques. Afin de procéder à ce calcul il faut connaître les modules de rigidité des couches composant la chaussée.

Plusieurs modèles ont été développés afin de tenter de prévoir le cycle d'évolution des chaussées. Certains d'entre eux sont présentés sommairement.

3.2.1 Les modèles de Queiroz

Queiroz a développé, à l'aide de la méthode mécanique-empirique, un modèle de dégradation linéaire basé sur les paramètres de déflexion, compression, énergie et contrainte (Haas et al., 1994). Le modèle que propose Queiroz, pour la rugosité, est le suivant :

$$\begin{aligned} \text{Log (QI)} = & 1,297 + \\ & 9,22 \times 10^{-3} \hat{\text{age}} + \\ & 9,08 \times 10^{-2} \text{ST} - \\ & 7,03 \times 10^{-2} \text{RH} + \\ & 5,57 \times 10^{-4} \text{SEN1LogN} \end{aligned} \quad (3.1)$$

où :

- QI** = rugosité;
âge = âge de la chaussée en année;
ST = type de surface (0 tel que construit, 1 pour resurfaçage);
RH = indicateur de réhabilitation (0 tel que construit, 1 pour resurfaçage);
SEN1 = énergie à la base de l'enrobé;
N = nombre cumulatif d'ECAS.

Pour l'identification du modèle de prédiction de la dégradation de surface, Queiroz a utilisé l'équation de type régression et propose ce qui suit:

$$\mathbf{CR = -8,70 + 0,258HST * \text{Log}N + 1,006 \times 10^{-7}HST * N} \quad (3.2)$$

où :

- CR** = pourcentage de la surface du revêtement fissuré;
HST = contrainte horizontale au bas de l'enrobé (kg /cm²).

Ainsi, ce modèle tente de démontrer le lien existant entre une fissure réfléchie à la surface de l'enrobé et la contrainte horizontale que crée l'agressivité des véhicules au bas de l'enrobé. Étant donné la traction au bas de l'enrobé, il y a progression des fissures vers le haut jusqu'à atteindre la surface (figure 3.10).

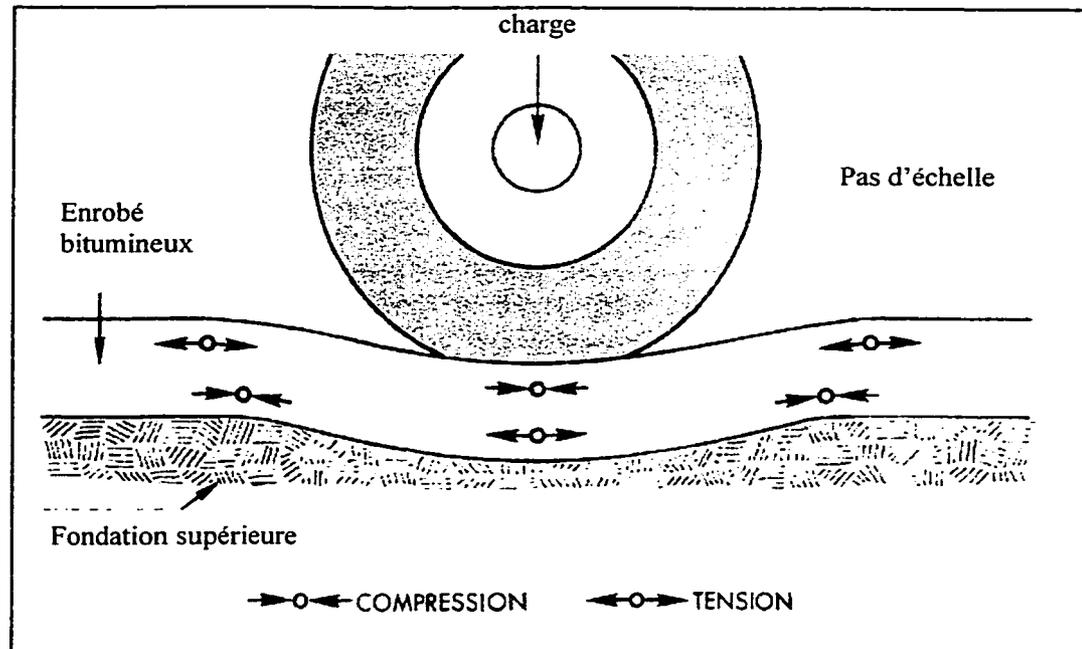


Figure 3.10 Efforts dans l'enrobé
(Adapté de Yoder et Witczak, 1975).

3.2.2 Les modèles d'évolution de la société belge

La Belgique a mis en place des lois d'évolution pour différents défauts que l'on retrouve dans l'analyse de la dégradation d'un réseau routier. La valeur des différents paramètres est exprimée en fonction de la durée de vie relative ou en fonction de la sollicitation causée par la circulation, soit le nombre total d'équivalent de charge axiale simple.

Les formules 3.3 à 3.7 représentent les différents modèles utilisés en Belgique pour prédire le comportement des chaussées évalués à l'aide de certains indicateurs de performance (Heleven, 1990).

Pour la rugosité, le modèle correspond à :

$$\text{Rug}(n) = \text{Rug0} - C * \exp(-n) \quad (3.3)$$

Pour l'uni longitudinal, le modèle correspond à :

$$\text{Uni}(n) = \text{Uni0} + A*(n/N) \quad (3.4)$$

Pour les ornières, le modèle correspond à :

$$\text{Om} = B*(n/N)^{0,5} \quad (3.5)$$

Pour la dégradation visuelle, le modèle correspond à :

$$\text{Degr} = 100 / (1 + 64^{(-\log(n/N))}) \quad (3.6)$$

Pour la capacité portante, le modèle correspond à :

$$\text{Def}(n) = f(\text{structure, trafic, endommagement}) \quad (3.7)$$

où :

Rug = rugosité;

Om = ornière;

Degr = dégradation;

Def = déflexion;

n = la circulation réelle;

N = la circulation totale pour la vie utile de la chaussée;

exp = la fonction exponentielle;

A,B,C = des constantes numériques.

Contrairement au modèle que propose Queiroz pour la dégradation reliée à la présence de fissures en surface, le modèle belge se concentre sur

une fonction logarithmique comparant le trafic réel et le trafic total sur la durée de vie de la chaussée. Ainsi, au fur et à mesure que le nombre d'ECAS augmente les fissures apparaîtront.

3.2.3 Les modèles de dégradation du MTQ

Lors de ses recherches sur l'identification des modèles de dégradation, le MTQ a procédé à une modélisation à l'aide d'une variable exogène, soit l'âge du revêtement et trois variables endogènes de comportement, soit l'indice de rugosité internationale d'été (IRIe), l'ornièrre à grand rayon (OGR) et l'indice global de fissuration (IGF) (Bergeron, 1999).

À l'aide de modèles mathématiques utilisés par des logiciels d'analyses statistiques, le MTQ a créé trois modèles de dégradation pour chacune des 372 familles identifiées par le patron de découpage (section 3.3).

Afin de créer les modèles, le degré de régression a été fixé à 2, avec des polynômes ayant les coefficients β , α et γ , soit beta, alpha et gamma. Ces coefficients permettent de prévoir l'état d'une variable endogène de comportement dans un futur à court, moyen ou long terme, à partir de l'âge de la section (formule 3.8).

$$\text{variable endogène} = \alpha * \hat{\text{âge}}^2 + \beta * \hat{\text{âge}} + \gamma \quad (3.8)$$

Pour les chaussées municipales, lorsque le périmètre d'urbanisation ne comprend pas d'autoroute et très peu de kilomètres d'artères commerciales ou industrielles, il est moins nécessaire de s'attarder sur les modèles de

dégradation basés sur des données d'ornières. Par contre les modèles associés au patron de fissures ou à l'IRI, par exemple, deviennent très intéressants pour fins d'analyse et d'optimisation.

Le tableau 3.4, tiré de Bergeron (1999), expose certains résultats d'une étude faite par le MTQ en 1999 sur l'identification des modèles de comportement relatif à la portance.

Tableau 3.4

Modèles de dégradation du MTQ pour la portance

Var.	Coefficients					
	α	σ_α	β	σ_β	γ	σ_γ
IRIe	-0,03	0	1,29	0,034	19,84	0,202
IGF	-0,22	0,01	8,75	0,244	24,67	1,45

Ainsi, les modèles pour l'indice de rugosité international (IRI) et l'indice global de fissuration (IGF) créés lors de ces études sont les suivants :

Indice de rugosité international (IRI)

$$\text{IRIe} = -0,03 * \text{âge}^2 + 1,29 * \text{âge} + 19,84 \quad (3.9)$$

Indice global de fissuration (IGF)

$$\text{IGF} = -0,22 * \text{âge}^2 + 8,75 * \text{âge} + 24,67 \quad (3.10)$$

En pratique, il est préférable que certains modèles, comme celui de l'indice global de fissuration (IGF), aient un passage forcé à l'origine, en assignant la valeur zéro au coefficient " γ ". Ce faisant, il y a modification des constantes " α " et " β " du nouveau modèle. Le tableau 3.5 présente les modèles de l'indice de rugosité international été (IRI_e) et de l'indice global de fissuration du MTQ.

Tableau 3.5

Modèles de dégradation du MTQ pour IRI_e et l'IGF

Indice	Modèle $\alpha * \text{âge}^2 + \beta * \text{âge} + \gamma$
IRI _e	$-0,03 * \text{âge}^2 + 1,29 * \text{âge} + 19,84$
IGF	$-0,32 * \text{âge}^2 + 12,33 * \text{âge}$

L'accroissement annuel moyen de la détérioration de l'indice de rugosité et de l'indice global de fissure se trouve à l'aide des dérivés des équations 3.11 et 3.12.

$$\frac{d \text{IRI}_e}{d \text{âge}} = 2 * \alpha_{\text{IRI}_e} * \text{âge} + \beta_{\text{IRI}_e} \quad (3.11)$$

$$\frac{d \text{IGF}}{d \text{âge}} = 2 * \alpha_{\text{IGF}} * \text{âge} + \beta_{\text{IGF}} \quad (3.12)$$

Ainsi, à l'instar des modèles proposés par Queiroz et la société belge, le MTQ présente un modèle de dégradation de surface à l'aide d'un indice

global de fissuration variant en fonction de l'âge de la chaussée. Contrairement, aux modèles précédemment proposés, celui du MTQ ne tient pas compte de la circulation ni de son agressivité mais est fonction d'une variable temporelle.

3.2.4 Le modèle de dégradation PQI

La formulation d'un modèle de dégradation PQI (Pavement Quality Index) est une méthode statistique permettant de combiner plusieurs indicateurs de performances sous une même équation. Ce modèle a été développé à partir de l'analyse de 40 sections de chaussée soumises aux indicateurs de performances RCI₂ (riding comfort index), SAI (structural adequacy index) et SDI (surface distress index) tous évalués sur une échelle de 0 à 10 (Haas et al., 1994).

Plusieurs essais de corrélation ont été effectués afin de mettre à l'écart les résultats indésirables et de créer un modèle reflétant les conditions réelles de détérioration de la chaussée soumise à l'évaluation des différents indicateurs de performances.

Après l'analyse de plusieurs sections, l'apparition de constantes et de ratios résulte en la présentation du modèle proposé dans la formule 3.13.

$$\text{PQI} = 1,1607 + (0,596 * \text{RCI} * \text{SDI}) + (0,5264 * \text{RCI} * \text{Log}_{10} \text{SAI}) \quad (3.13)$$

L'analyse démontre que le niveau d'acceptabilité d'une chaussée évalué à l'aide des paramètres de ce modèle se situe à 4,7 (figure 3.11). Sous

cette valeur, la chaussée ne répond plus, théoriquement, aux objectifs ayant guidé sa conception. Ce modèle est utilisé au Minnesota et en Alberta (Baladi, 1990).

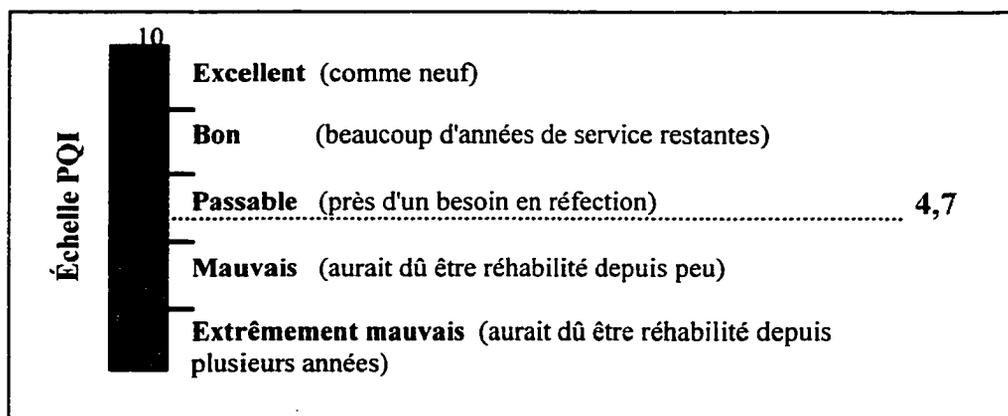


Figure 3.11 Échelle des valeurs de PQI.

Ce modèle est le seul des modèles précédemment exposés faisant l'objet d'une composition de défauts reliés à divers indicateurs de performance. Dans ce cas, trois indices de dégradations ont mené à l'élaboration de ce modèle.

3.2.5 Les modèles de l'AASHTO

En fonction des données disponibles au moment des analyses, l'AASHTO a réussi à établir des équations dites "statistiquement linéaires" pour prédire l'effet des différents paramètres entourant la chaussée vis-à-vis les dégradations de celle-ci. L'AASHTO a initialement travaillé sur un modèle prédictif unique qui couvrait tous les États-Unis et une bonne partie du Canada (AASHTO, 1998). Toutefois, il fut rapidement convenu qu'un modèle unique pour prédire un type de dégradation à travers toute une panoplie de conditions environnementales ne s'avérait pas idéale : il est

difficile d'expliquer et de faire ressortir de façon précise les effets des différents paramètres environnementaux. Même si ce modèle continue d'être mis à jour, son utilisation générale n'est pas recommandée.

Parallèlement à ce modèle unique, l'AASHTO a décidé de produire des modèles dits "régionaux" qui reflètent mieux les différentes façons par lesquelles les mécanismes de dégradation se manifestent spécifiquement dans chaque région environnementale. En fait, la zone étudiée a été divisée en quatre régions environnementales, soit climat humide sans gel, climat sec sans gel, climat humide avec gel et climat sec avec gel.

Les limites approximatives de ces régions apparaissent à la figure 3.12. Les modèles régionaux ainsi développés s'avèrent beaucoup plus fiables et statistiquement acceptables.

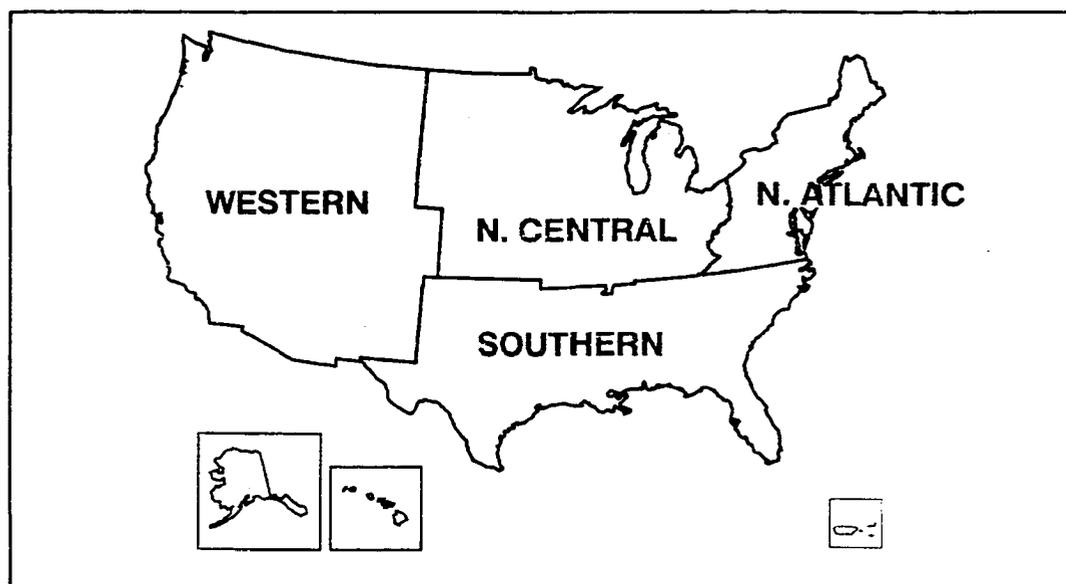


Figure 3.12 Les quatre régions du programme de l'AASHTO
(www.tfhr.gov/pavement/ltp).

L'utilisation des modèles régionaux de l'AASHTO doit tout de même rester limitée car les données de base qui ont servi à leur production ne sont pas toujours précises, exhaustives ou suffisantes. C'est-à-dire, qu'au fur et à mesure que le programme LTPP se poursuit, les modèles et les coefficients correspondants sont ajustés et améliorés. Il est tout de même possible d'employer les modèles pour prédire les différentes dégradations risquant de se produire dans des chaussées conçues avec les procédures courantes et, ainsi, faire des prévisions concernant l'entretien à effectuer.

Même s'il s'agit d'une dégradation importante qui devrait être considérée lors de la conception, la fissuration due à la fatigue n'est pas modélisée ; en effet, l'AASHTO n'a pas répertorié suffisamment de sections d'essais affectées par la fissuration polygonale pour en arriver à valider statistiquement les modèles.

3.2.6 Les modèles du système PAVER

La stratégie d'analyse propre au système de gestion PAVER est reliée à la création d'un indice de condition de pavage PCI donnant une indication de l'intégrité structurale de la chaussée (Uzarski et Soule, 1986). L'indice PCI (pavement condition index) est basé sur le type, la sévérité et la quantité des défauts se trouvant sur la chaussée lors de son analyse. La figure 3.13 illustre le concept d'évaluation selon l'index de condition PCI du système PAVER.

Au début des années 1990, le US Army Corps a mis en place des modèles de dégradation linéaire afin de prédire le comportement des chaussées (Shahin et Walther, 1990). Cette théorie linéaire a permis de conclure qu'une chaussée perd environ 4 points sur l'échelle des PCI entre les années 0 et 5 de sa vie et 6 entre les années 5 et 10.

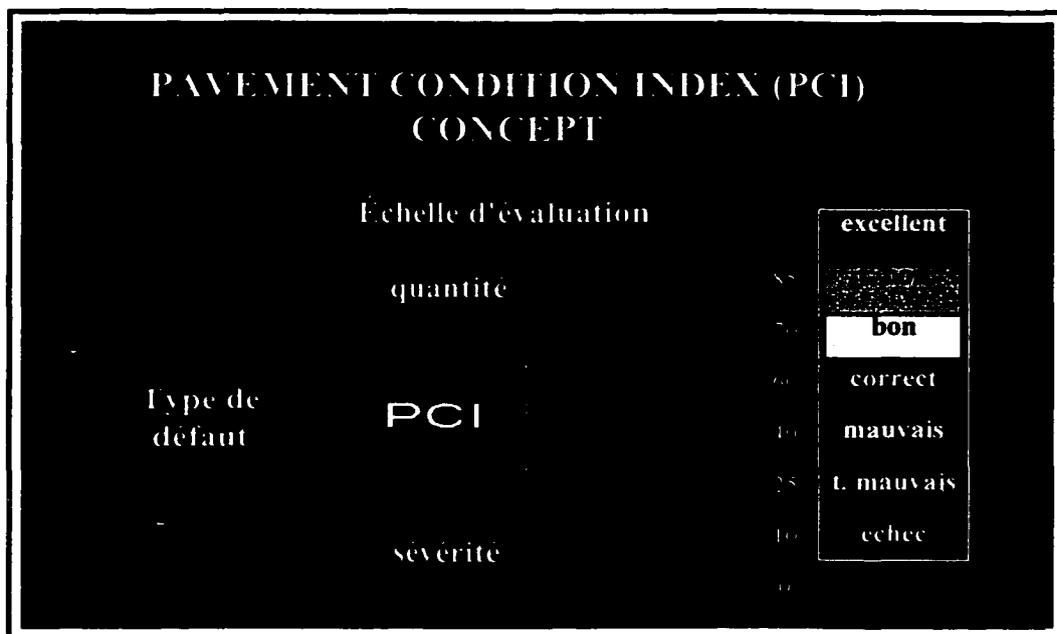


Figure 3.13 Évaluation du PCI

(Adapté du fichier P43demo.ppt, site www.paver.com).

Au fil des ans, les modèles prédictifs se sont raffinés et ont plutôt tendance à se comporter selon les courbes de la figure 3.14.

Ainsi, les données provenant de l'état de dégradation réel des chaussées servent de bases pour l'élaboration des modèles théoriques de dégradations selon le système PAVÉR. Tout comme le propose le système Vizir, la densité et la sévérité des dégradations sont la plaque tournante de l'évaluation du comportement à venir.

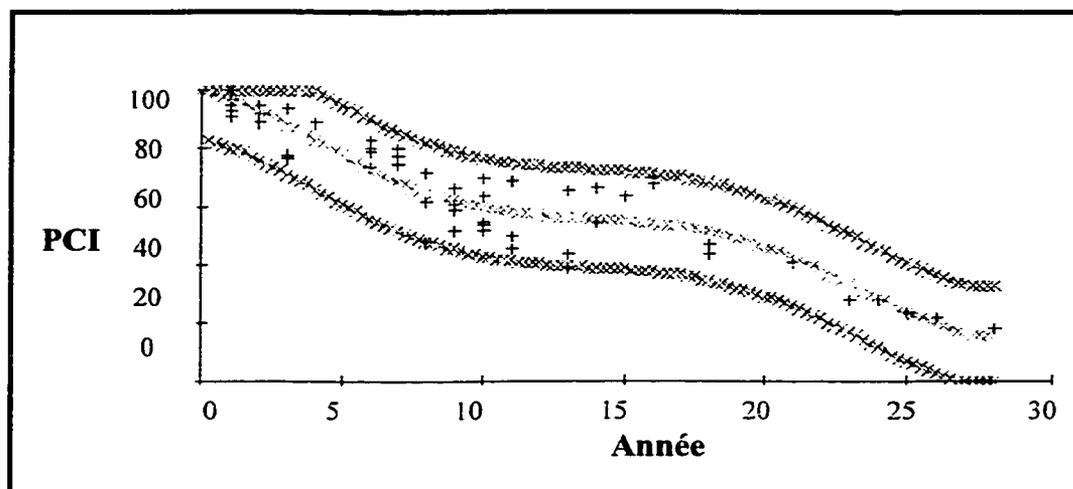


Figure 3.14 Courbes de comportement du système PAVER
(Adapté du fichier P40demo.ppt, site www.paver.com).

3.2.7 Les modèles de dégradation des chaussées municipales

Lors d'études menées au cours des étés 1996 et 1997, des modèles de dégradation des chaussées reconstruites et des chaussées ayant subi un resurfaçage ont été développés. Respectivement échelonnés sur des périodes correspondant aux durées de vie des interventions choisies (reconstruction et resurfaçage), les modèles sont présentés graphiquement à la figure 3.15. Les modèles proposés sont basés sur l'âge depuis la construction et l'état général fourni par la cote visuelle des différents tronçons mis à l'étude. Une cinquantaine de tronçons de chaussées municipales ont fait l'objet de cette étude.

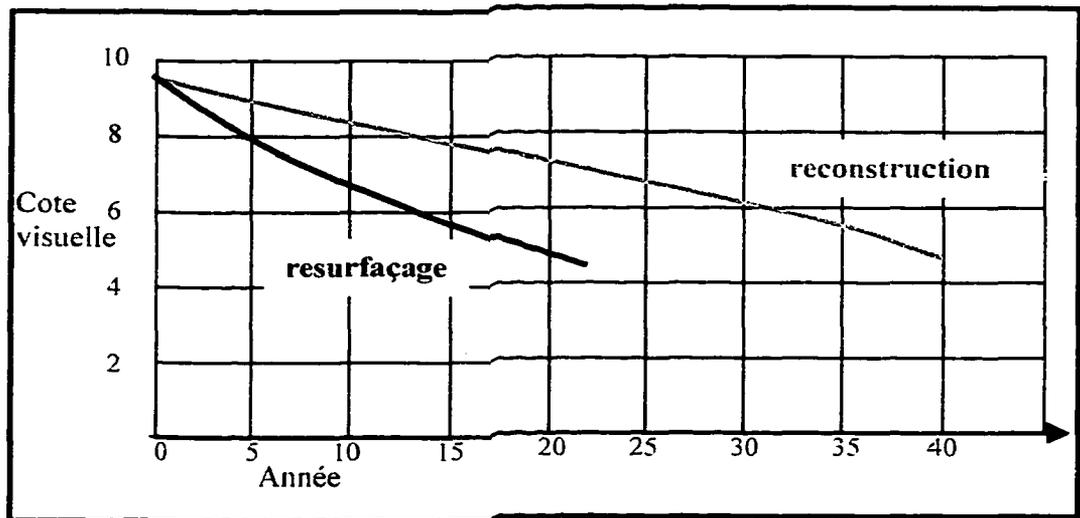


Figure 3.15 Modèles de dégradation pour les chaussées municipales.

3.2.8 Le modèle de Markov

Créé en faisant le produit de trois matrices de niveau respectif 2 (épaisseur d'enrobé), 3 (niveau de circulation) et 2 (fondation), le modèle prédictif probabiliste de Markov expose les diverses probabilités d'état y où pourrait se retrouver une section dont l'état est x après un temps n (tableau 3.6).

Par exemple, à l'aide de cette matrice, il est possible de prévoir qu'une section avec une cote visuelle initiale de 6, aura 94% de chance que l'année suivante elle reste à 6, 3% de chance qu'elle tombe à 5, 2% qu'elle se retrouve à 4 et ainsi de suite.

Cette matrice permet de prédire statistiquement le comportement des chaussées ayant les caractéristiques des matrices la composant. Cependant, certaines cases de la matrice de Markov donnent des résultats ne pouvant

vraisemblablement pas se produire. C'est le cas de la case créée par l'intersection de la condition initiale 6 et de la condition future 9. Il n'est pas réellement possible qu'une chaussée ayant une condition initiale de 6 se retrouve, sans intervention, en condition finale 9. Pourtant, la matrice de Markov indique qu'il y a 1% des chances que cette situation se produise.

Tableau 3.6

Matrice probabiliste de Markov

Source : Haas et al., 1994

Condition future	Condition initiale								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.90	0.04	0.02	0.03	0.01	0	0	0	0
2	0.10	0.90	0.03	0	0.05	0.01	0	0	0
3	0	0.10	0.92	0	0.01	0.03	0	0.01	0.02
4	0	0	0	0.92	0.01	0.02	0	0.01	0
5	0	0	0	0.01	0.94	0.03	0.1	0.01	0
6	0	0	0	0	0.02	0.94	0	0.01	0.04
7	0	0	0	0	0	0	0.95	0.02	0.01
8	0	0	0	0	0	0	0.01	0.96	0.03
9	0	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0.98

3.2.9 Les liens entre les modèles et leurs applications

Le choix du ou des modèles à retenir afin de mettre en place les éléments essentiels à la gestion d'un réseau routier municipal est directement

Le modèle que propose le système PAVER, basé sur une qualification de la densité et de la sévérité des défauts de surface, semble correspondre aux besoins des gestionnaires de petits réseaux routiers municipaux. L'analyse et la qualification des défauts de surface permet de pondérer les différents défauts afin de mettre en évidence ceux qui, selon le gestionnaire, sont les plus préoccupants et pour lesquels une attention particulière doit être portée.

3.3 Le regroupement par familles

Afin d'appliquer les différents modèles de dégradations à des sections de routes ayant des comportements identiques, il est préférable d'isoler les tronçons, ou segments, en groupes appelés "familles" (ou unités d'analyse). Chacune de ces familles, comportant un nombre élevé de tronçons, est soumise à un traitement statistique mettant en évidence le nombre de tronçons ayant atteint une maturité au niveau de sa vie utile. Les tronçons démontrant des caractéristiques de détérioration comparables doivent être rassemblés dans une famille pour laquelle un modèle de dégradation théorique tentera de prédire la variation de la détérioration de la chaussée et de sa structure en identifiant un mode de détérioration prévisible et commun. La différence de comportement structural de tronçons de la même famille est une réalité qui se traduit par les différentes combinaisons de défauts prenant place dans une loi de comportement théorique-statistique non exacte et souvent peu précise (De Montigny, 1989).

Par la suite, les chaussées de la famille sont regroupées en trois groupes, soit :

- a. les tronçons ne demandant pas d'intervention à court terme;
- b. les tronçons ayant besoin de légers travaux de réfection de surface;

- c. les tronçons pour lesquels semblent se poser des problèmes de structure.

Pour le dernier groupe (c), une série d'informations permettra de poser un diagnostic sur les besoins structuraux des chaussées et guidera les interventions de réfection à y effectuer. Une étude projet (chapitre 4) permet d'optimiser les méthodes de réfection afin de limiter la détérioration des chaussées sous ce défaut.

3.3.1 Les familles du ministère des Transports du Québec

Le ministère des Transports du Québec propose une méthode de classification des différents tronçons de son réseau afin de pouvoir associer des modèles de comportement à des familles (Bergeron, 1999).

Le tableau 3.7 indique les critères de base permettant le découpage de l'ensemble des sections du réseau pour la classification par familles.

Le nombre de modalités de chacun des classificateurs permet de créer un nombre de familles contenu entre 2 et 64 selon les types de modèles prédictifs associables aux familles retenues. Lorsque intégrés aux données provenant des années de construction ou de réhabilitation, ces classificateurs permettent la création de centaines de familles. Le MTQ en a retenu 373 afin de classer plus de 288 000 sections de chaussées.

Le premier classificateur : la structure

Le premier classificateur intègre le type de structure et la qualité apportée au dimensionnement, à la mise en œuvre, à l'entretien et à la réhabilitation des segments de chaussées. L'importance des sections de route va en décroissant selon que la classe fonctionnelle augmente.

Tableau 3.7

Critères de sélection des familles du MTQ

(Source : Bergeron, 1999)

	Classificateurs	Nombre de modalités	Aspect des modalités
1	Structure (portance de conception)	4	Classe fonctionnelle : 10,20,30 ou 40
2	Agression de la circulation	2	Faible ou élevée
3	Géivité	2	Gélive ou non gélive
4	Stabilité	2	Stable ou instable
5	Effet permanent du gel, de la désintégration et de la perte des matériaux	2	Susceptible ou non susceptible

Le deuxième classificateur : l'agressivité de la circulation

Généralement reconnu sous le terme DJMA l'agressivité est une mesure du nombre de véhicules circulant sur la chaussée, sans toutefois faire une distinction de sa composition ou de sa provenance. L'ECAS est une donnée provenant du DJMA mais avec laquelle il est possible de faire une distribution du trafic par rapport aux types de véhicules.

Le troisième classificateur : la géivité

La géivité est conditionnée par l'influence des différentes périodes de gel/dégel sur la structure et l'infrastructure de la chaussée. Le soulèvement

de la chaussée en présence d'eau dans des conditions de gel cause une perte de portance de la fondation et entraîne une dégradation accélérée. Ce classificateur est calculé en faisant la différence entre les valeurs de l'IRI d'hiver et celui d'été.

Le quatrième classificateur : la stabilité

Le quatrième classificateur, la stabilité, est représenté par l'influence de passages répétés ou cumulés de poids lourds. L'objectif de ce classificateur est de regrouper les sections connaissant une même progression des ornières sous la sollicitation des charges.

Le cinquième classificateur : l'effet permanent du gel

Ce dernier classificateur regroupe les sections ayant une progression de l'IRI comparable.

3.3.2 Les familles du système HDM-4

L'utilisation d'un outil de gestion des chaussées par la Banque Mondiale de développement date de plusieurs années. Ainsi, les données ayant servi à créer les modèles ont été divisées en familles et se sont révélées relativement réalistes car leur évolution a permis de mettre en place des modèles de dégradation par groupes de chaussées.

Afin de mettre en place des modèles pouvant être appliqués à plusieurs types de chaussées, HDM-4 a produit une interaction entre les différents matériaux de surface et les fondations généralement utilisées dans les

chaussées (tableau 3.8). Les groupes de chaussées proposés correspondent aux familles retenues dans le système.

Les dénominations des familles de chaussées retenues dans le système de gestion HDM-4 sont les suivantes :

AMGB	Asphalt mix on granular base
AMAB	Asphalt mix on asphalt base
AMSB	Asphalt mix on stabilised base
AMAP	Asphalt mix on asphalt pavement
AMCP	Asphalt mix on concrete pavement
STGB	Surface treatment on granular base
STAB	Surface treatment on asphalt base
STSB	Surface treatment on stabilised base
STAP	Surface treatment on asphalt pavement
STCP	Surface treatment on concrete pavement
JPCP	Joint compacted concrete
CRCP	Continuously reinforced concrete
CBGB	Concrete block granular base
CBSB	Concrete block stabilised base
SSGB	Set stone on granular material
BRGB	Bricks on granular material
GRUP	Granular unsealed pavement
EAUP	Earth unsealed pavement
SAUP	Sand unsealed pavement

Tableau 3.8

Classification des chaussées selon le modèle de HDM-4

(Source : <http://hdm4.piarc.org/info/appdetail-e.htm#Functions>)

		Type de surface	Matériau de surface	Type de base	Matériau de base	Type de chaussée
Pavée	Bitumeuse	AM	AC CM HRA PMA RAC PA SMA	GB	CS GM	AMGB
				AB	AB	AMAB
				SB	CS LS	AMSB
				AP	TNA FDA ST	AMAP
				CP	JR CR RC	AMCP
		ST		GB	CS GM	STGB
				AB	AB	STAB
				SB	CS LS	STSB
				AP	TNA FDA ST	STAP
				CP	JR CR RC	STCP
	Béton	CP	JR CR RC	GB	CS GM	CPGB
				AB	AB	CPAB
				SB	CS LS	CPSB
				EB	EB	CPEB
	Block	CB	CB	SG	SG	CBSG
				SB	LC	CBSB
				SS		SSGB
		BR	BR	GB	CS	BRGB
	Non-pavée	Non-scellé		GR		GRUP
				EA		EAUP
			SA		SAUP	

Lors de la mise en place de modèles prédictifs du comportement de la dégradation des chaussées il est important de créer des familles correspondant aux indicateurs retenus lors de la prise des données. Les différents défauts identifiés

pour chacun des tronçons seront la source de création des modèles reliés à l'agressivité et l'influence de ces défauts sur les stratégies et périodes d'intervention.

À partir des éléments présentés précédemment, une implantation concrète d'une étude réseau a été réalisée dans une municipalité québécoise et est présentée au chapitre 4.

CHAPITRE 4

IMPLANTATION CONCRÈTE D'UNE ÉTUDE RÉSEAU

La théorie précédemment élaborée permet de mettre en place les éléments essentiels à un système de gestion des chaussées municipales. Quoique le principe de gestion des chaussées municipales soit présentement en développement dans les organisations municipales, il est possible d'implanter un mécanisme décisionnel permettant d'optimiser le choix des interventions pour une planification de réhabilitation et d'entretien à moyen terme.

Le présent chapitre traite d'une expérience concrète de mise en place des éléments essentiels d'un système de gestion des chaussées basé sur la revue des différents systèmes de gestion des chaussées du chapitre 1 et sur les théories exposées aux chapitres 2 et 3 traitant de la gestion des infrastructures et des études réseaux. Cette implantation s'est faite dans le respect de la complexité de l'administration municipale.

L'étude réseau, contrairement à l'étude projet, permet d'avoir une vue d'ensemble de l'état de dégradation du réseau routier. L'implantation concrète d'une étude réseau a été effectuée de février à août 2000. Elle définit l'état d'environ 50 km de chaussée d'un réseau routier ainsi que les besoins et priorités d'entretien d'une municipalité de moyenne envergure, de près de 20 000 habitants, située dans un rayon de moins de 150 kilomètres de Montréal.

Afin de mettre en place les éléments essentiels à l'implantation d'un système de gestion des chaussées municipales, il a été convenu avec les employés de la Ville de découper en quatre étapes l'implantation de l'étude réseau, soit :

- a. étape 1 : recherche et étude des informations disponibles afin de créer la base de données. Validation des données pertinentes;
- b. étape 2 : acquisition par reconnaissance et auscultation des données techniques servant à qualifier les tronçons du réseau;
- c. étape 3 : mise en banque et validation des informations techniques. Création de statistiques et tendances afin de s'assurer de la validité des informations techniques recueillies en chantier;
- d. étape 4 : développement des modèles de dégradation des chaussées en regard des informations recueillies. Regroupement par famille (unité d'analyse).

4.1 ÉTAPE 1 - La création de la base de données

Afin de s'assurer que les éléments nécessaires à la création de la base de données sont disponibles, deux réunions de formation et de coordination ont eu lieu avec les représentants des services techniques de la Ville. Tel que discuté à la section 3.1, la base de données est composée de l'inventaire, de l'historique de construction, de l'entretien ou de la réhabilitation, des données sur la circulation et des coûts de construction et de réhabilitation.

Les trois principales sections menant à la composition de la base de données concernent les informations générales, la circulation et la construction.

4.1.1 La section d'informations générales

C'est dans cette première section que sont incluses les principales informations de la route, soit le numéro de la rue, son nom, sa localisation, l'identification des infrastructures routières qui délimitent le tronçon et l'année de construction de la rue.

La section d'informations générales contient donc les informations de base sur les rues du réseau. Pour créer la base de données, il est recommandé de donner à chacune des rues de la base un numéro de rue. À ce numéro, il est recommandé d'ajouter un numéro de tronçon, de section et de segment et d'effectuer les relevés sur des longueurs de 250 mètres.

La municipalité à l'étude possède déjà une méthode de classification lui étant propre. Cette dernière a été mise en place dès le début de l'année 2000 afin de séparer, à l'intérieur des sept secteurs administratifs de la municipalité, les différents tronçons routiers se trouvant sur son territoire. Il a été nécessaire de modifier la méthode de classification en place dans la municipalité afin de respecter la stratégie proposée dans le cadre de ce travail.

Les informations sur la géométrie de la route incluent la longueur, la largeur et le nombre de voies (figure 4.1). Ces informations sont utiles lorsque sont traitées les données reliées à la section relative à la circulation et à la section construction. Les 52 km de route de la municipalité ont été subdivisés par le service technique de la Ville en tronçons, délimités généralement par les intersections des rues et parfois par les numéros civiques. Ces tronçons ont été numérotés de façon séquentielle en donnant, comme premier chiffre du numéro, un nombre correspondant à une des sept

sections administratives du service technique suivi d'un numéro indicateur pour chacun des tronçons de rue.

Lorsque le réseau routier est séparé en différents secteurs, l'analyse peut être faite en fonction de certaines contraintes. Par exemple, les secteurs peuvent être séparés par districts électoraux afin de tenter de répartir les investissements en réfection de façon plus homogène sur le réseau. Les rues peuvent aussi être séparées en fonction de leur classification fonctionnelle, soit les principales, les secondaires et les collectrices. Les 193 tronçons faisant l'objet de la présente étude ont été répartis dans les sept secteurs administratifs nommés de 100 à 700 (tableau 4.1).

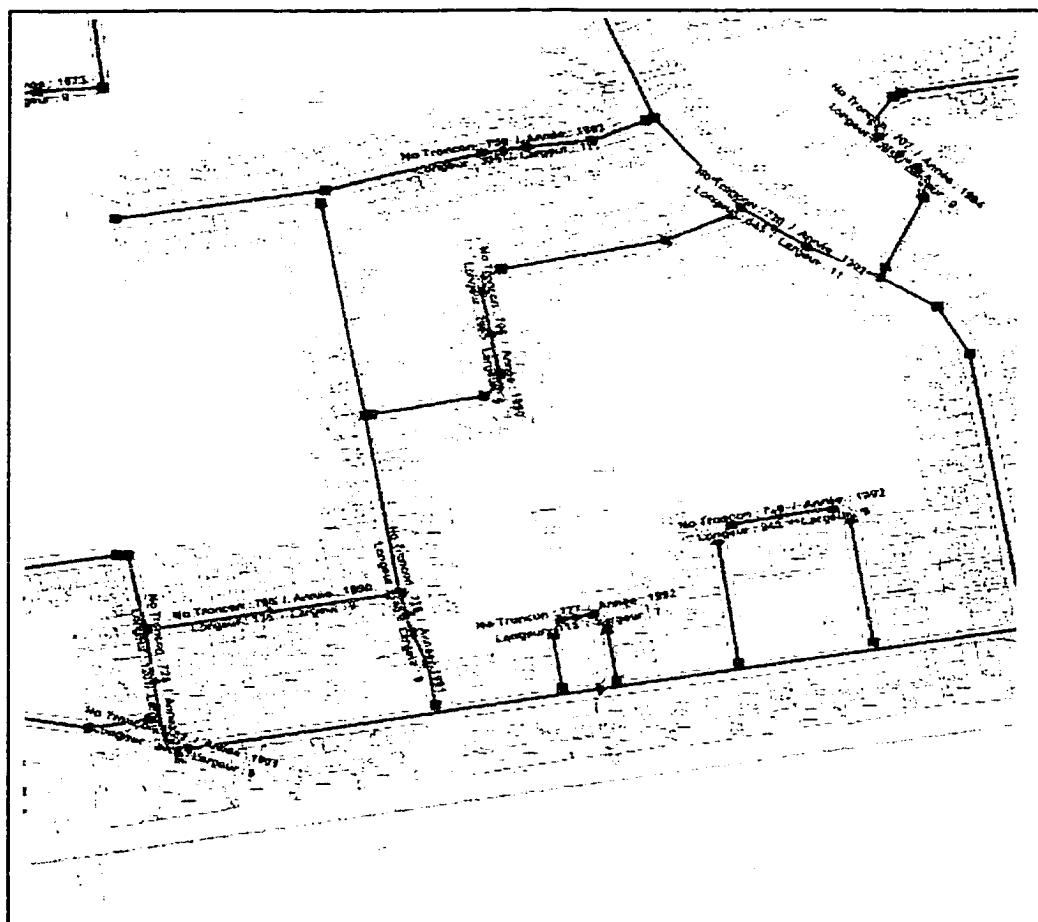


Figure 4.1 Identification et informations sur les tronçons

Tableau 4.1

Répartition des tronçons parmi les secteurs administratifs

Secteurs	Tronçons	Longueur (m)	Superficie (m ²)
Secteur 100	25	6 535	66 203
Secteur 200	33	7 625	76 025
Secteur 300	27	7 295	62 365
Secteur 400	35	10 470	83 228
Secteur 500	8	2 340	19 775
Secteur 600	33	9 775	84 550
Secteur 700	33	7 909	72 760
TOTAL	193	51 949	464 905

Les longueurs des tronçons ont été mesurées à partir de la jonction des deux lignes de rive de l'intersection. La longueur de l'intersection a été allouée à la rue la plus importante en terme de circulation.

Il est également pertinent d'inclure les structures de pont/viaduc ainsi que les refuges et voies réservés aux autobus.

Tous les tronçons de rue ont été numérisés sur le plan de la Ville (figure 4.1). Ainsi, la mise en plan informatisé de tous les tronçons permet rapidement d'identifier les longueurs et largeurs de sections de routes. Cette étape de digitalisation du réseau routier est très utile lorsqu'il faut mettre en plan les cotes visuelles et les années d'interventions susceptibles de commander des travaux de reconstruction ou de réhabilitation sur les différentes sections de rues.

4.1.2 La section relative à la circulation

Le but de la section relative à la circulation est de conserver les informations sur la circulation. Les données pour cette section proviennent de relevés sur les sites ou d'approximations sur une base annuelle. Ces informations peuvent servir à plusieurs applications, soit :

- a. analyser les déflexions basées sur l'ECAS;
- b. catégoriser les rues en fonction du DJMA;
- c. maintenir une base de données permettant de suivre l'évolution de la circulation et en prédire les caractéristiques futures.

Quoique l'agressivité de la circulation soit importante dans la gestion des chaussées et dans le choix des méthodes de réhabilitation de la structure de chaussée, la Ville n'a pas cru bon, dans le cadre de l'implantation de l'étude réseau, d'obtenir des informations suffisamment précises sur la sollicitation et l'agressivité de la circulation. Étant donné que la plupart des tronçons de rues de la Ville ne sont sollicités que par une faible densité de véhicule, il est moins nécessaire, à cette étape de mise en place, de caractériser les tronçons en fonctions du nombre d'ECAS ou en fonction du DJMA. Les seuls tronçons pour lesquels le nombre d'ECAS et le DJMA pourraient avoir une influence sont ceux appartenant au MTQ et se trouvant sur le territoire de la Ville. Très peu de tronçons sont sollicités par des véhicules lourds et sujets aux passages d'autobus. Ainsi, lors de la mise en place aucune donnée concernant la circulation n'a été prise en regard de l'agressivité de la circulation.

4.1.3 La section comportant les données de construction

La section comportant les données de construction inclut les informations à jour sur la construction et les méthodes de construction, les données structurales et toutes les informations reliées aux travaux les plus récents effectués sur le tronçon à l'étude.

Il est également important d'inclure, dans la section comportant les données de construction, les informations reliées à la reconstruction, la réhabilitation ou l'entretien préventif de la chaussée. L'année d'intervention, le type de construction réalisé et toutes les informations reliées à la structure, aux épaisseurs et aux matériaux des couches en place doivent être incluses. Les données additionnelles sur la géométrie de la rue et les structures associées (par exemple : le type de bordure et les refuges d'autobus) doivent aussi être incluses au niveau 4.

En faisant l'historique de construction des différents tronçons de la Ville, il a été possible de retracer dans les plans et devis de l'époque (certains remontent à 1960) deux types d'entretiens correctifs et deux types de concepts de construction de chaussées.

Pour l'entretien correctif, le type B recommande l'application de 50 mm de pavage et le type C propose l'application d'une couche de 50 à 75 mm de pavage. Quelques tronçons semblent avoir été reconstruits selon un type B qui ressemble à une construction de type B.

Ainsi, au niveau de la construction, le type B consiste sommairement en l'application de 50 mm de pavage sur une fondation de 300 mm. Le type

C consiste en l'application de 50 mm de pavage sur 200 mm de pierre concassée 0-20 mm assis sur une épaisseur de 250 mm de sable.

Étant donné le manque de constance dans les informations concernant l'historique de construction, seuls l'année et le type de la dernière intervention ont été retenus afin d'associer le tronçon à l'étude à une courbe de dégradation de construction ou de réhabilitation. Ainsi, pour chaque tronçon, l'année de la dernière intervention ainsi que le type d'activité sur la chaussée et l'infrastructure ont été retenus.

4.2 ÉTAPE 2 - La qualification des tronçons (sur le réseau)

Tel que discuté précédemment dans ce travail, la qualité de l'analyse et des choix des options de réhabilitation, appliqués au moment opportun, est directement reliée à la qualité des relevés faits sur le réseau routier. Or, plus l'information est juste et abondante, plus l'analyse est réaliste et performante. Cependant, les gestionnaires municipaux sont constamment confrontés à offrir plus de services avec un haut niveau de qualité et moins d'argent, limitant de facto les sommes disponibles aux fins de relevés.

Après l'analyse de la situation avec les services techniques de la Ville et de concert avec la direction générale, il a été convenu que les sommes disponibles ne permettaient pas d'ausculter le réseau avec des techniques et appareils mobilisant des sommes élevées. C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, seuls des relevés visuels ont été effectués. Quoique souhaitable, il n'a pas été possible de procéder à des relevés d'orniérage, de portance et de texture. Il est à noter que la principale source d'information au sujet de l'évolution de la détérioration d'une chaussée municipale est celle provenant d'un relevé des dégradations de surface.

Donc, l'état de dégradation de la chaussée a été évalué à partir d'observations visuelles effectuées sur le site aux mois d'avril, mai et juin 2000 par un technicien des services techniques de la Ville préalablement formé lors d'une réunion à cet effet.

Il a été convenu que lors de l'étude projet des tronçons devant être reconstruits ou réhabilités, des sommes supplémentaires seront disponibles afin d'ausculter plus en profondeur la structure de chaussée et dimensionner une chaussée pouvant corriger les défauts de sa structure afin de correspondre aux attentes des propriétaires aux niveaux de la qualité et de la durée de vie.

4.2.1 Les relevés visuels

Le relevé de dégradation visuel est un inventaire des conditions visuelles observées sur une chaussée pour une année donnée et inclut (PMS, 1996 et Metropolitan Toronto Department of Roads and Traffic, 1990) :

- a. l'année du relevé;
- b. les déformations de la surface de la chaussée;
- c. les structures associées telles bordures et qualité de drainage;
- d. une cote visuelle;
- e. une cote de condition de roulement (CCR).

Les relevés visuels de l'évaluation de l'état de la surface de la chaussée ont été effectués par un technicien des services techniques de la Ville à l'aide d'un formulaire de dégradation mis à sa disponibilité. Ces relevés ont été effectués en marchant chacune des sections étudiées. Le formulaire d'acquisition des données permet aussi de prendre en note d'autres paramètres de la chaussée tels que la condition générale des bordures, la largeur de la rue et les conditions de drainage.

4.2.1.1 La sévérité et la densité des défauts

Un chiffre reflétant la sévérité et la densité des dégradations est associé à chacune des dégradations permettant ainsi de les qualifier et de les quantifier. Une liste de 19 types de dégradations regroupées en 5 catégories est représentée à la figure 4.2 (Chong et al., 1989). À partir de cette liste il est possible de sélectionner les dégradations observées lors de la collecte des données visuelles. La liste inclut toutes les dégradations majeures, soit celles reliées :

- a. aux charges;
- b. à l'environnement;
- c. à la construction;
- d. aux matériaux;
- e. aux autres dégradations mineurs comme les nids-de-poule, les tranchées et les fissures scellées.

La densité et la sévérité des dégradations sont qualifiées sur une échelle allant de 0 à 5 selon les catégories présentées au tableau 4.2. La notion de sévérité reliée à la fissuration est habituellement associée à l'ouverture des lèvres des fissures simples et à la perte éventuelle des matériaux ou encore à la densité surfacique des fissures maillées (Bergeron, 1999). Pour ce qui est de la densité des dégradations, elle est généralement basée sur les expériences techniques antérieures. L'ampleur de la dégradation est comptabilisée en pourcentage de la surface que la dégradation occupe sur le tronçon à l'étude.

Type de dégradation	Définition	Densité	Sévérité
Charges		0 à 5	0 à 5
Carrelage Fissure en rive Ornière	<i>Patron de fissures à petites mailles polygonales.</i> <i>Fissure localisée en bordure de la chaussée.</i> <i>Dépression longitudinale, simple ou double, provoquée par le passage des roues.</i>		
Environnement			
Fissure polygonale Fissure longitudinale Fissure transversale Lézarde	<i>Patron de fissures rectangulaires.</i> <i>Rupture du revêtement parallèle à l'axe de la route.</i> <i>Rupture du revêtement relativement perpendiculaire à la direction de la route, généralement sur toute la largeur de la chaussée.</i> <i>Crevasse profonde, étroite et irrégulière dans l'enrobé bitumineux.</i>		
Matériaux			
Arrachement Désenrobage Pelade Ressuage Ondulation Fissures cartésiennes	<i>Détachement de l'enrobé bitumineux généralement causé par une séparation entre les deux couches asphaltiques.</i> <i>Érosion du liant ou perte de gros granulats en surface de l'enrobé.</i> <i>Arrachement en surface de plaques d'enrobé.</i> <i>Remontée de bitume à la surface d'un revêtement bitumineux.</i> <i>Déplacement longitudinal de la surface.</i> <i>Combinaison de fissures transversales et longitudinales</i>		
Construction			
Tassements Fissure joints de construction Fissure réfléchie	<i>Mouvement vertical descendant de la surface</i> <i>Coupure aménagée dans une dalle lors d'un arrêt de la pose du matériau.</i> <i>Réflexion supérieure d'une fissure inférieure.</i>		
Autres			
Rapiéçage/tranchée Nids de poule Fissure scellée	<i>Portion de surface de chaussée remplacée.</i> <i>Cavité de forme arrondie à la surface de la chaussée, résultat de la dégradation de la surface de roulement.</i> <i>Fissure ayant fait l'objet d'un traitement.</i>		

Figure 4.2 Sommaire des dégradations de surface d'une chaussée.

Tableau 4.2

Qualification des dégradations de surface

Densité		Sévérité	
Aucune (0%)	0	N/A	0
Peu (<10%)	1	Très légère	1
Intermittente (10-20%)	2	Légère	2
Fréquente (20-50%)	3	Modérée	3
Répandue (50-80%)	4	Sévère	4
Généralisée (>80%)	5	Très sévère	5

Le ministère des Transports du Québec propose dans le Manuel d'identification des dégradations des chaussées en béton de ciment un tableau exposant les différentes dégradations des chaussées en béton recouvertes d'enrobé (tableau 4.3).

Afin de s'assurer d'une homogénéité de la nature des relevés sur tous les tronçons, il a été convenu que le technicien en charge des opérations de cotation en chantier baserait son analyse de 17 des 19 dégradations de surface, au niveau de la sévérité, selon les informations présentées aux figures 4.3 à 4.17.

Ainsi 17 des 19 dégradations sont présentées dans ses figures. Pour les deux dégradations non illustrées et incluses dans la catégorie « Autres dégradations », soit les tranchées et les fissures scellées, il n'a pas été nécessaire d'identifier une sévérité. La densité est cependant une des données importantes pour ces deux défauts, car elle indique l'ampleur de leur présence.

Tableau 4.3

Dégradations des chaussées en béton recouvertes d'enrobé

Source : Thébeau (1997)

Dégradations	Sévérité			Densité	
	faible	moyenne	majeure	basse	élevée
5.1.1 Nid-de-poule	$\phi < 40$	$40 < \phi < 150, p < 100$	$\phi > 150, p > 100$	$\leq 10/\text{km}$	$> 10/\text{km}$
5.1.2 Désenrobage	description	description	description	$\leq 30\% \text{ surface}$	$> 30\% \text{ surface}$
5.1.3 Pelade	$p < 25$	$25 < p < 50$	$p > 50$	$\leq 10/\text{km}$ ou $\leq 10 \text{ m}^2/\text{km}$	$> 10/\text{km}$ ou $> 10 \text{ m}^2/\text{km}$
5.1.4 Petites ondulations	description	description	description	$\leq 30\% \text{ surface}$	$> 30\% \text{ surface}$
5.1.5 Ressuage	description	description	description	description	description
5.1.6 Ornières	$p < 10$	$10 < p < 20$	$p > 20$	$\leq 30\% \text{ section}$	$> 30\% \text{ section}$
5.1.7 Bourrelet	description	description	description	N/A	N/A
5.1.8 Surface d'apparence glissante	N/A	N/A	si suspectée	description	description
5.2.1 Fissure longitudinale	$\text{OUV} < 5,$ $\text{AR} = 0, \text{DV} = 0$	$5 < \text{OUV} < 15,$ $\text{AR} < 75, \text{DV} < 15$	$\text{OUV} > 15,$ $\text{AR} > 75, \text{DV} > 15$	$l \text{ FL} \leq 1000 \text{ m}/\text{km}$	$l \text{ FL} > 1000 \text{ m}/\text{km}$
5.2.2 Fissure transversale	$\text{OUV} < 3$ $\text{AR} = 0, \text{DV} = 0$	$3 < \text{OUV} < 10$ $\text{AR} < 75, \text{DV} < 5$	$\text{OUV} > 10$ $\text{AR} > 75, \text{DV} > 5$	$\leq 30/\text{km}$	$> 30/\text{km}$
5.2.3 Fissure polygonale	description	description	description	$\leq 30\% \text{ surface}$	$> 30\% \text{ surface}$
5.2.4 Carrelage	description	description	description	$\leq 30\% \text{ surface}$	$> 30\% \text{ surface}$
5.2.5 Colmatage de fissure défectueux	$\text{FT} : < 10\% \text{ IF}$ $\text{FL} : \text{N/A}$	$\text{FT} : 10\% < \text{IF} < 30\%$ $\text{FL} : \text{N/A}$	$\text{FT} : > 30\% \text{ IF}$ $\text{FL} : \text{N/A}$	$\leq 30\% \text{ FT}$ $\leq 30\% \text{ l FL}$	$> 30\% \text{ FT}$ $> 30\% \text{ l FL}$
5.3.1 Grandes ondulations	description	description	description	description	description
5.3.2 Affaissement	description	description	description	$\leq 4/\text{km}$	$> 4/\text{km}$
5.3.3 Soulèvement différentiel	description	description	description	$\leq 4/\text{km}$	$> 4/\text{km}$
5.4.1 Flambement/éclatement	N/A	N/A	si présence	N/A	N/A

Légende

O : diamètre (mm)

AR : arrachement des granulats (mm)

description : se référer à la section visée

DV : décalage vertical (mm)

F : fissure

FL : fissure longitudinale

FT : fissure transversale

l : longueur (mm)

N/A : ne s'applique pas

OUV : ouverture (mm)

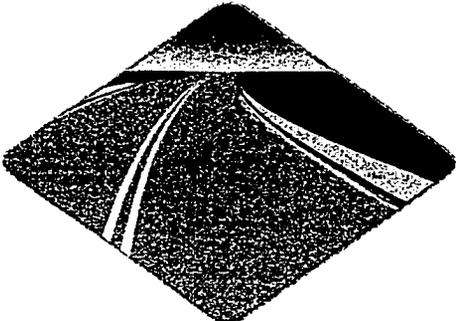
p : profondeur (mm)

Carrelage	Dégradation liée aux charges
5- Très sévère	Blocs polygonaux qui ont soulevé, avec ouverture supérieure à 50 mm.
4- Sévère	Blocs polygonaux commençant à soulever, avec ouverture supérieure de 26 à 50 mm.
3- Modérée	Patron de carrelage établi avec détérioration des bordures de blocs ayant des ouvertures de 13 à 25 mm.
2- Légère	Patron de carrelage établi avec les coins de blocs polygonaux fracturés ayant des ouvertures inférieures à 13 mm.
1- Très légère	Fissures multiples qui commencent à développer des interconnexions de fissures avec des ouvertures inférieures à 13 mm.
0- N/A	Aucun carrelage

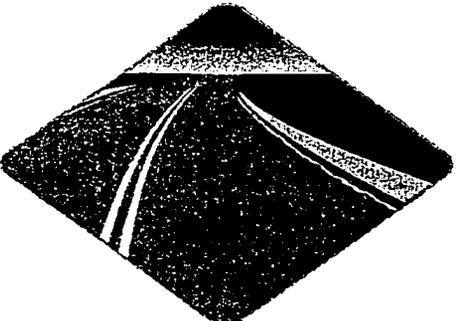


Figure 4.3 Carrelage sévère (Durand et Doré, 1993).

Fissure en rive	Dégradation liée aux charges
5- Très sévère	Fissures multiples progressives s'étendant à plus de 1500 mm du bord du revêtement.
4- Sévère	Presque toute la surface près des fissures en rive commence à développer des connections donnant une apparence de peau d'alligator et s'étendant entre 600 mm et 1500 du bord du revêtement.
3- Modérée	Fissures multiples s'étendant à plus de 300 mm mais situées à moins de 600 mm du bord du revêtement.
2- Légère	Fissure simple ou deux fissures parallèles de 3 à 12 mm d'ouverture et située à moins de 300 mm du bord du revêtement.
1- Très légère	Fissure longitudinale simple ou en forme de croissant inférieur à 3 mm d'ouverture et à moins de 150 mm du bord du revêtement.
0- N/A	Aucune fissure



Modérées



Très sévères

Figure 4.4 Fissures en rive (Durand et Doré, 1993).

Orniérage	Dégradation liée aux charges et/ou matériaux
5- Très sévère	Ornière simple ou double plus profonde que 50 mm avec ou sans fissures longitudinales multiples ou carrelage.
4- Sévère	De 20 à 50 mm de profondeur avec ou sans fissure longitudinale simple ou ornière double développée.
3- Modérée	De 13 à 19 mm de profondeur avec ou sans fissures longitudinales simples ou multiples. Début de développement d'ornières doubles.
2- Légère	De 6 à 12 mm de profondeur avec ou sans fissures longitudinales simples.
1- Très légère	À peine visible, inférieur à 6 mm de profondeur.
0- N/A	Aucune ornière



Figure 4.5 Ornières multiples (Durand et Doré, 1993).

Fissure longitudinale	Dégradation liée à l'environnement
5- Très sévère	Fissure simple avec ouverture supérieure à 25 mm, avec des bordures détériorées. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 25 mm mais supérieure à 20 mm, avec bordures détériorées.
4- Sévère	Fissure simple de 20 à 25 mm d'ouverture, avec des signes d'initiation à la détérioration des bordures. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 20 mm mais supérieure à 13 mm, avec des signes d'initiation à la détérioration des bordures.
3- Modérée	Fissures simples ou multiples de 13 à 19 mm d'ouverture.
2- Légère	Fissure simple de 3 mm à 12 mm d'ouverture.
1- Très légère	Fissure simple d'ouverture inférieure à 3 mm.
0- N/A	Aucune fissure



Figure 4.6 Fissure longitudinale très sévère (Durand et Doré, 1993).

Fissure transversale	Dégradation reliée à l'environnement
5- Très sévère	Fissure simple avec ouverture supérieure à 25 mm. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 25 mm mais supérieure à 20 mm. Fissures affectées par des affaissements ou soulèvements des lèvres, et la détérioration des bordures.
4- Sévère	Fissure simple de 20 à 25 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 20 mm. Apparence d'affaissements ou soulèvements des lèvres.
3- Modérée	Fissure simple de 13 à 19 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 13 mm. Début de développement d'affaissement ou soulèvement.
2- Légère	Fissure simple de 3 mm à 12 mm d'ouverture.
1- Très légère	Fissure simple d'ouverture inférieure à 3 mm.
0- N/A	Aucune fissure



Figure 4.7 Fissuration transversale multiple (Durand et Doré, 1993).

Lézarde	Dégradation liée à l'environnement
5- Très sévère	Fissure simple avec ouverture supérieure à 25 mm, avec ou sans bordures détériorées. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 25 mm mais supérieure à 20 mm, avec ou sans bordures détériorées.
4- Sévère	Fissure simple de 20 à 25 mm d'ouverture, avec des signes d'initiation à la détérioration des bordures. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 20 mm mais supérieure à 13 mm, avec des signes d'initiation à la détérioration des bordures.
3- Modérée	Fissure simple de 13 à 19 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 13 mm .
2- Légère	Fissure simple de 3 mm à 12 mm d'ouverture.
1- Très légère	Fissure simple d'ouverture inférieure à 3 mm.
0- N/A	Aucune fissure



Lézardes modérées

Figure 4.8 Lézarde (Durand et Doré, 1993).

Désenrobage	Dégradation liée aux matériaux
5- Très sévère	La surface a une apparence embrouillée et est désagrégée en de larges nids-de-poules ou nervures avec des fissures modérées.
4- Sévère	Apparence variolée, les perforations sont rapprochées. Désagrégation avec petits nids-de-poule ou nervures avec de légères fissures.
3- Modérée	Apparence variolée, assez bon espacement entre les perforations. Désagrégation peu profonde du revêtement de surface, et apparence d'une texture ouverte.
2- Légère	Pertes visibles de matériaux du revêtement.
1- Très légère	À peine visible.
0- N/A	Aucun désenrobage.



Figure 4.9 Désenrobage (Thébeau, 1997).

Pelade	Dégradation liée aux matériaux
5- Très sévère	Surface d'arrachement supérieure à 1,0 mètre carré.
4- Sévère	*
3- Modérée	Surface d'arrachement de 0,5 à 1,0 mètre carré.
2- Légère	*
1- Très légère	Surface d'arrachement inférieure à 0,5 mètre carré.
0- N/A	Aucune pelade.

* cotes 2 et 4 sont inexistantes



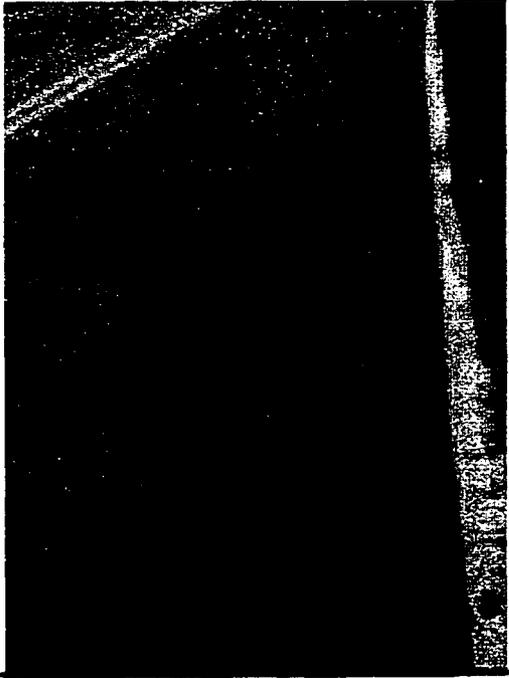
Figure 4.10 Pelade (Thébeau, 1997).

Ressuage	Dégradation liée aux matériaux
5- Très sévère	Matériaux asphaltiques libres donnant une apparence mouillée du revêtement et produisant un bruit de pneu comparable à celui que fait un véhicule circulant sur une surface mouillée.
4- Sévère	Matériaux asphaltiques libres donnant une apparence mouillée du revêtement.
3- Modérée	Apparence distincte.
2- Légère	Couleur visible.
1- Très légère	Couleur à la surface très pâle.
0- N/A	Aucun ressuage.



Figure 4.11 Ressuage de sévérité faible (Thébeau, 1997).

Ondulation	Dégradation liée aux matériaux
5- Très sévère	Planche à laver (ondulations à ondes très courtes) ou larges bosses causant la dérive des véhicules sur les côtés et peut causer la perte de contrôle du véhicule.
4- Sévère	Très bosselé avec planche à laver prononcée ou larges bosses sur la surface du revêtement.
3- Modérée	Apparence bosselée et de planche à laver.
2- Légère	Effet de planche à laver.
1- Très légère	Effet de planche à laver à peine visible.
0- N/A	Aucune ondulation.



Série de vagues transversales, régulières et rapprochées

Figure 4.12 Ondulation (Durand et Doré, 1993).

Fissures cartésiennes (polygonales)	Dégradations liées aux matériaux (à l'environnement)
5- Très sévère	Fissures simples avec ouverture supérieure à 25 mm. Fissures multiples interconnectées avec présence de nids-de-poule et bordures détériorées.
4- Sévère	Fissures simples de 20 à 25 mm d'ouverture. Fissures multiples interconnectées.
3- Modérée	Fissures simples de 13 à 19 mm d'ouverture. Fissures interconnectées commençant à se développer en fissures multiples.
2- Légère	Fissures simples de 3 mm à 12 mm d'ouverture, bien espacées mais interconnectées pour former une apparence de polygone entre les fissures transversales.
1- Très légère	Fissures simples inférieures à 3 mm d'ouverture et de faible longueur, développées aléatoirement entre les fissures transversales.
0- N/A	Aucune fissure



Figure 4.13 Fissures cartésiennes (Thébeau, 1997).

Tassement, affaissement	Dégradation liée à la construction
5- Très sévère	Déformation constante faisant en sorte que le conducteur sent qu'il est nécessaire de réduire la vitesse par rapport à la vitesse affichée.
4- Sévère	Mouvements, haussesments ou descentes causant une secousse des véhicules en mouvement. Le conducteur anticipe continuellement les déformations.
3- Modérée	Mouvements, haussesments ou descentes causant une secousse des véhicules en mouvement.
2- Légère	Mouvements, haussesments ou descentes causant une secousse à peine ressentie des véhicules en mouvement.
1- Très légère	Oscillation à peine visible des véhicules en mouvement
0- N/A	Aucun tassement

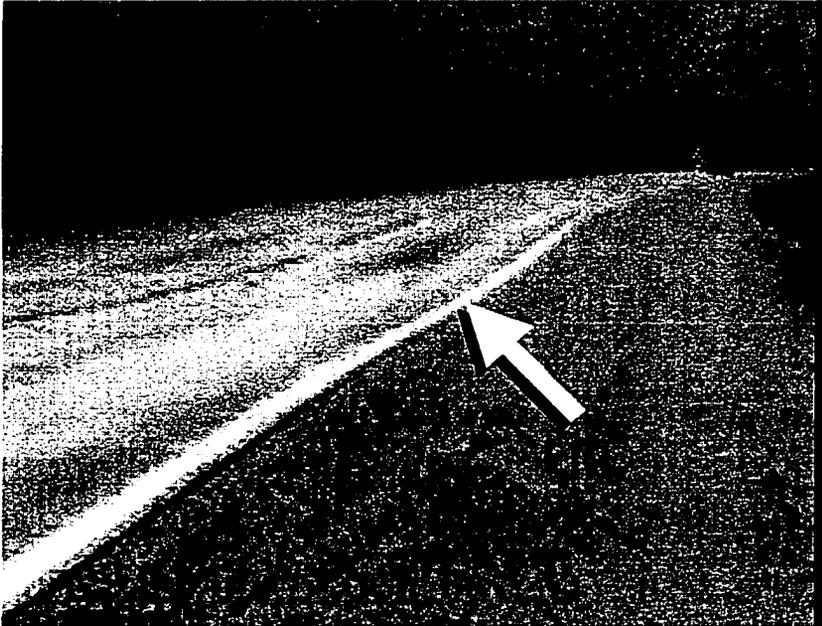
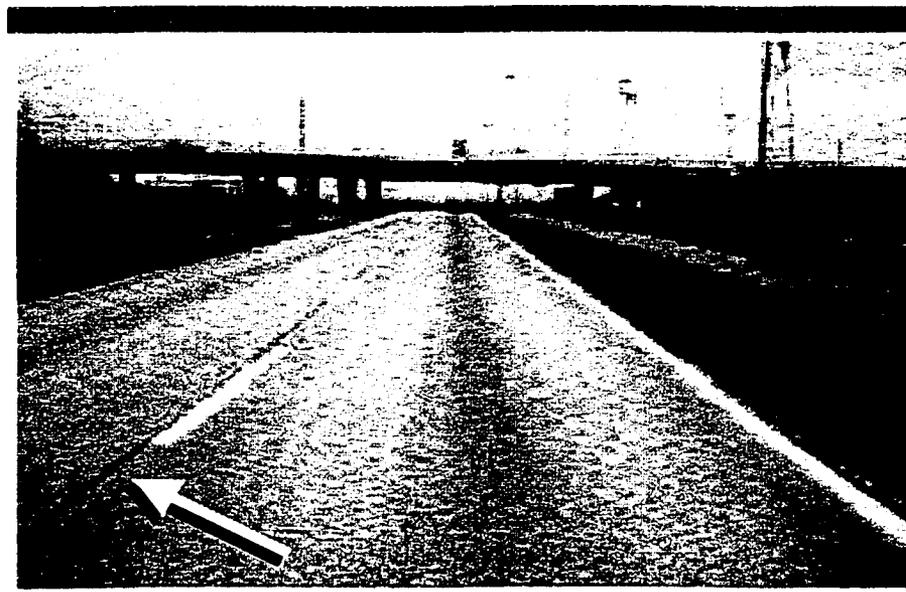


Figure 4.14 Tassement, affaissement (Thébeau, 1997).

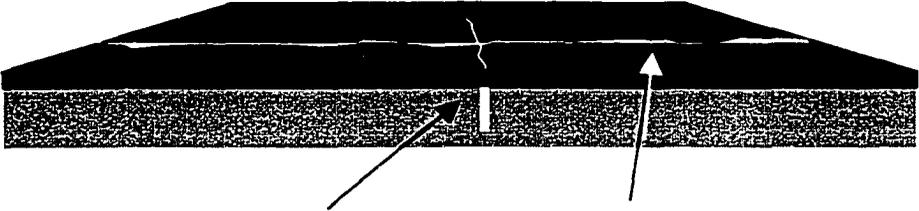
Fissure joint de construction	Dégradation reliée à la construction
5- Très sévère	Fissure simple avec ouverture supérieure à 25 mm. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 25 mm mais supérieure à 20 mm avec des détériorations des bordures.
4- Sévère	Fissure simple de 20 à 25 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 20 mm mais supérieure à 13 mm avec des signes d'initiation de détérioration des bordures.
3- Modérée	Fissure simple de 13 à 19 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 13 mm .
2- Légère	Fissure simple de 3 mm à 12 mm d'ouverture.
1- Très légère	Fissure simple d'ouverture inférieure à 3 mm.
0- N/A	Aucune fissure



Deviens une fissure réfléchi
lorsque la dalle de béton est
recouverte d'un enrobé.

Figure 4.15 Fissure joint de construction (Thébeau, 1997).

Fissure réfléchie	Dégradation liée à la construction
5- Très sévère	Fissure simple avec ouverture supérieure à 25 mm. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 25 mm mais supérieure à 20 mm avec des détériorations des bordures.
4- Sévère	Fissure simple de 20 à 25 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 20 mm mais supérieure à 13 mm avec des signes d'initiation de détérioration des bordures.
3- Modérée	Fissures simples de 13 à 19 mm d'ouverture. Fissures multiples d'ouverture inférieure à 13 mm.
2- Légère	Fissure simple de 3 mm à 12 mm d'ouverture.
1- Très légère	Fissure simple d'ouverture inférieure à 3 mm.
0- N/A	Aucune fissure



Fissures réfléchies
Proviennent de fissures créées par un joint de construction dans la dalle de béton

Figure 4.16 Fissures réfléchies.

Nid-de-poule	Autres dégradations
5- Très sévère	Diamètre supérieur à 300 mm.
4- Sévère	*
3- Modérée	Diamètre entre 150 et 300 mm.
2- Légère	*
1- Très légère	Diamètre inférieur à 150 mm.
0- N/A	Aucun nid-de-poule

* cotes 2 et 4 sont inexistantes

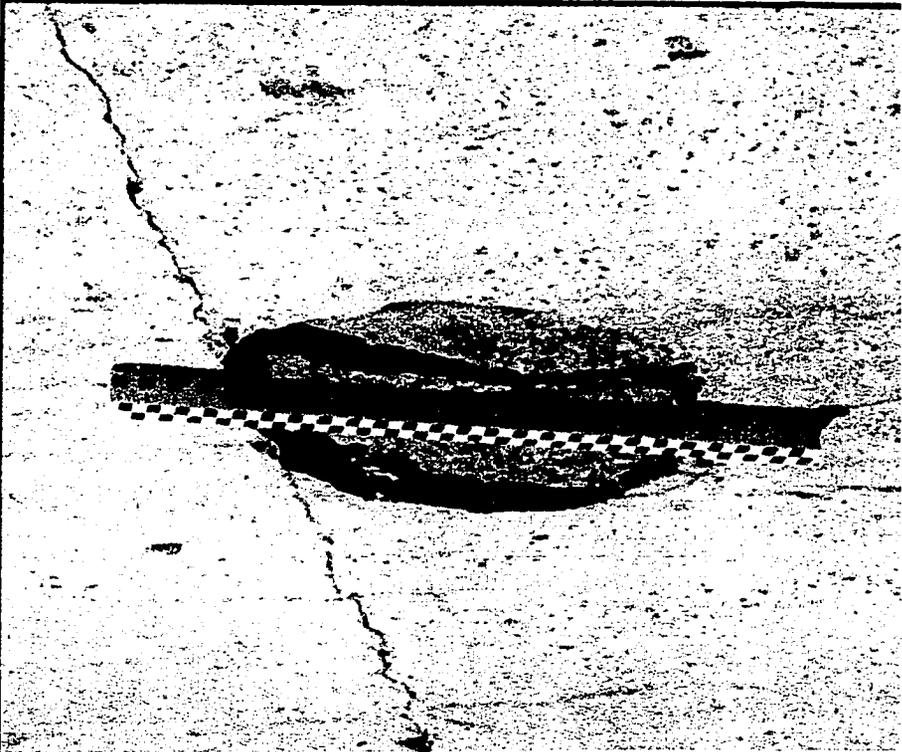


Figure 4.17 Nid-de-poule (Thébeau, 1997).

Une liste des informations complémentaires, incluant les trottoirs, les bandes médianes et les bordures, est disponible avec une cote de conditions permettant d'avoir de l'information supplémentaire sur les conditions de la section de rue concernée. Cette information permet aussi de prévoir certains

travaux à faire, lors de la préparation des interventions de correction ou de prévention d'une section en particulier. Les informations complémentaires pour lesquelles une cote de 0 à 5 doit être indiquée sont les suivantes :

- a. la qualité des bordures;
- b. la hauteur des bordures;
- c. la bande médiane;
- d. les trottoirs;
- e. les aires d'autobus (voies réservées);
- f. les îlots de refuges (autobus et virages);
- g. les ponts et viaducs;
- h. le drainage.

Ainsi, après avoir été formé, les techniciens responsables des relevés ont mis les informations concernant les diverses dégradations sur un formulaire permettant d'évaluer la qualité de chacun des tronçons. La figure 4.18 donne un exemple de formulaire utilisé dans le cadre des relevés de dégradations visuelles.

Toute cette étape d'identification des niveaux de sévérité et de densité est extrêmement importante car elle assure, si suivi correctement, une constance de la cotation entre les techniciens affectés aux relevés en chantier. De plus, lors de la deuxième génération de la cotation de chacun des tronçons, idéalement deux ou trois ans plus tard, l'équipe en charge des relevés pourra évaluer la sévérité et la densité des défauts de la même façon.

Données visuelle - Chaussée flexible

Type de Structural	Étendue	Sévérité	État	Structures associées	État	Terminer
<input type="checkbox"/> Carrelage	2	3	0 N/A	<input type="checkbox"/> Bordures	3	Enregistrer
<input type="checkbox"/> Fissure en rive	1	3	1-Très bonne	<input type="checkbox"/> Hauteur (bordure)		Effacer
<input type="checkbox"/> Orniérage	0	0	2-Bonne	<input type="checkbox"/> Bande Médiane		Imprimer
Environnemental			3-Passable	<input type="checkbox"/> Boulevards		Imprimer tout
<input type="checkbox"/> Fissure polygonale	1	2	4-Mauvaise	<input type="checkbox"/> Trottoirs		Remarques
<input type="checkbox"/> Fissure longitudinale	2	3	Étendue		<input type="checkbox"/> Aires d'autobus	Photo Act
<input type="checkbox"/> Fissure transversale	2	3	0-Aucune	<input type="checkbox"/> Îlot de refuge		Réparations Act
<input type="checkbox"/> Lézarde	1	2	1-Peu	<input type="checkbox"/> Pont/Viaduc		Survant
Construction			2-Intermittente	<input type="checkbox"/> Drainage	2	Précédent
<input type="checkbox"/> Tassements	1	2	3-Fréquente	CALC: Cote (0-10)		Valeur par défaut
<input type="checkbox"/> Fissure joint const.	0	0	4-Répondue	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Utiliser par défaut
<input type="checkbox"/> Fissure réfléchie	-	-	5-Généralisée	Cote de confort		
Matériaux			Sévérité		<input type="checkbox"/> 5	
<input type="checkbox"/> Arrachement	0	0	0-N/A	Année: <input type="checkbox"/>		No de rue: 105
<input type="checkbox"/> Désenrobage	1	1	1-Très légère	Rue: 104e Av.		
<input type="checkbox"/> Pelade	0	0	2-Légère	De: Blvd. Lafontaine		
<input type="checkbox"/> Pessuage	0	0	3-Moderée	A: Cms Labelle		
<input type="checkbox"/> Ondulation	0	0	4-Sévère	Affichage par		Édition générale
<input type="checkbox"/> Fissure cartésienne	-	-	5-Très sévère			
Autres						
<input type="checkbox"/> Rapiéçage/Tranchée	2	3				
<input type="checkbox"/> Nids-de-poule	1	1				
<input type="checkbox"/> Fissure scellée	0	0				

Figure 4.18 Formulaire de relevé des dégradations visuelles

4.2.2 Les relevés de confort au roulement

La Cote de Condition de Roulement (CCR) ou Cote de Confort au Roulement est une valeur subjective associée à la section tenant compte d'un ou de plusieurs critères. La CCR varie de 0 à 10 avec des incréments de 1.

La valeur 0 est la pire des conditions et 10, une excellente condition de chaussée. Pour donner la valeur de CCR, le technicien doit conduire son véhicule sur la section à l'étude à la limite de vitesse affichée. Plus le roulement est confortable, meilleure sera la valeur du CCR. Si le tronçon semble inacceptable lors du passage du véhicule à la vitesse affichées, la valeur du CCR sera grandement diminuée.

Quoique souhaitable, cette information a peu d'influence et est souvent remplacée par une cote visuelle générale (4.2.3) comme c'est le cas lors de la quête des données.

4.2.3 L'évaluation générale de l'état du tronçon

Afin d'avoir une idée générale de la qualité du tronçon à l'étude, le technicien en charge des relevés a qualifié subjectivement chacun des tronçons (figure 4.18). L'état général de la chaussée a été qualifié au moyen d'une cote visuelle subjective, qui varie entre 0 et 10. Une valeur de 10 représente une chaussée en parfaite condition, alors qu'une valeur de 0 représente une chaussée excessivement dégradée. Ainsi, la cote globale donnée par le technicien est comparée avec la cote résultant de la combinaison de tous les défauts possédant une note de sévérité et de densité.

L'objectif de cette démarche est d'assurer une certaine corrélation entre l'évaluation subjective du technicien et le résultat final composé d'une sommation des différentes dégradations pondérées. Cette démarche n'est pas obligatoire mais est souhaitable lorsque le réseau est ausculté par des personnes ayant peu d'expérience. La pondération et les équations permettant de calculer une cote finale de l'état de la dégradation de la chaussée sont présentés à la section 4.3.

4.3 ÉTAPE 3 - L'analyse des données et la validation des tendances

L'étape 3 consiste à donner au tronçon à l'étude une cote visuelle globale. Une série de calculs permet de faire la somme pondérée de l'impact des différents défauts, composés de la densité et de la sévérité, afin de qualifier chacun des tronçons. Le tableau 4.4 permet de donner une valeur de dégradation à la section en tenant compte d'une combinaison de la densité et de la sévérité du défaut.

Tableau 4.4

Combinaison de la sévérité et de la densité

		Densité					
		10	10	10	10	10	10
Sévérité	10	9,8	9,6	9,2	8,8	8,4	
	10	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	
	10	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	
	10	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	
	10	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	
	10						

De façon pratiquement identique à la classification proposée dans l'échelle des valeurs PQI, les chaussées sont classées en cinq catégories selon l'état de dégradation de la surface établi à partir de la cote visuelle selon les catégories présentées dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5

Classification de l'état de la surface selon la cote visuelle

Cote visuelle (CV)	État de la surface
8 à 10	Très bon
6 à 8	Bon
4 à 6	Passable
2 à 4	Dégradé
0 à 2	Très dégradé

Ces données quantitatives recueillies, une fois associées aux données qualitatives des diverses dégradations, permettent d'analyser l'évolution et le niveau de dégradation de la section.

Pour fin de compilation, la cote visuelle des chaussées non revêtues correspond à l'unité. Lors de l'analyse de la banque de données, les tronçons de chaussées non revêtues ont été retirés afin d'éviter l'influence importante que peut avoir leur cote visuelle sur l'ensemble du réseau. Les chaussées non revêtues occupent un peu plus de 6 % du réseau routier à l'étude, soit environ 3 300 mètres linéaires.

L'étape 3 consiste également à s'assurer que les données recueillies reflètent de façon réaliste les conditions du réseau routier et qu'un certain niveau de constance est gardé tout au long de la période des relevés.

Le principe de base d'évaluation de la cote visuelle est de comparer la valeur globale calculée et celle identifiée par le technicien pour tous les tronçons (section 4.2.3). La procédure utilisée, dans le cadre de cette étude, permet de faire le calcul de la cote visuelle (valeur globale), en utilisant un système de pondération basé sur la dégradation de la surface en regard de la densité et de la sévérité de chacun des défauts.

Lors de cette étude, une série d'équations est mise en place afin de pondérer l'influence des différentes dégradations et d'estimer une valeur de la cote visuelle calculée. Pour chaque étude et pour chaque administration, les différentes équations permettant le calcul de la cote visuelle globale sont fonction de l'importance de la dégradation aux yeux du gestionnaire du réseau. Par exemple, les dégradations associées à la présence d'ornières peuvent être moins importants que la présence de nids-de-poule pour certains gestionnaires de réseaux. Ainsi, cette dernière dégradations pourra avoir plus d'influence que le précédent dans le calcul de la cote visuelle globale. Généralement, les facteurs de pondération (total de 100%) sont associés aux cinq classes de dégradation de surface, comme l'indique les figures 4.1 et 4.2, et qui sont les suivantes :

- a. les charges (35%);
- b. l'environnementales (25%);
- c. les matériaux (25%);
- d. les causes reliées à la construction (15%);
- e. les autres (0%).

Ainsi, il est possible de calculer la cote visuelle globale permettant de qualifier la route pour ensuite comparer ce résultat avec celui du responsable de l'évaluation en chantier.

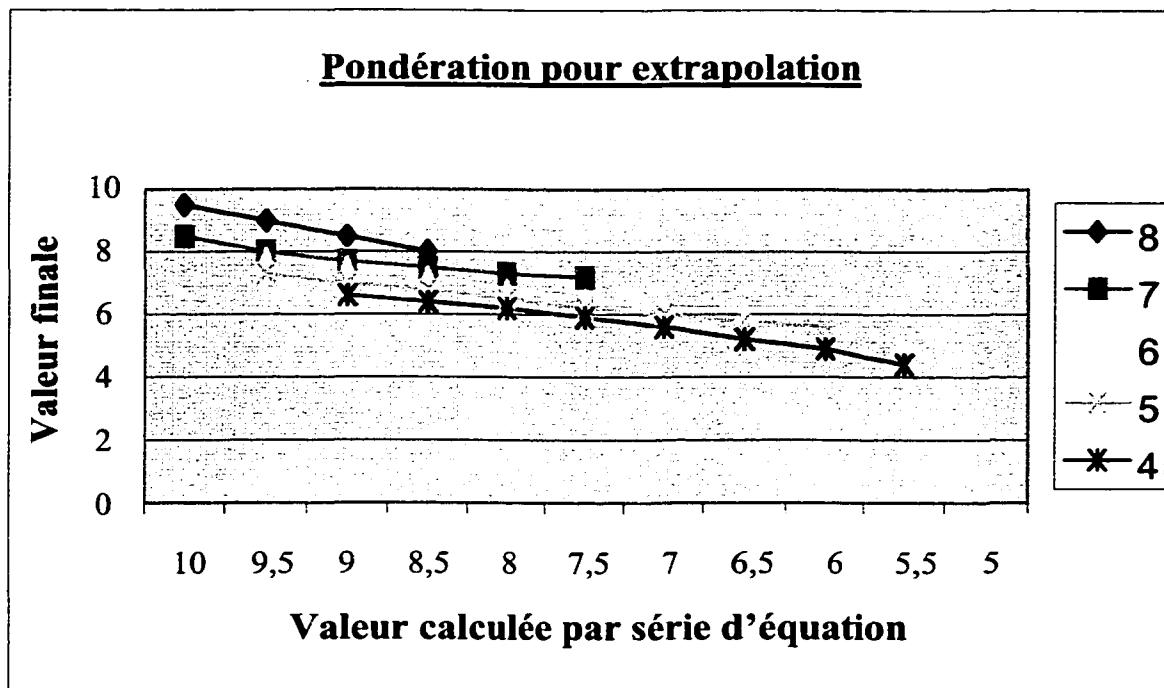
Lors de la validation des données, une tendance générale de sous-estimation au niveau de la densité a été constatée, reflétant de ce fait une évaluation quelque peu optimiste de la qualité du réseau. À la suite de l'analyse des différentes données concernant l'état de dégradation de la surface des tronçons composant le réseau routier de la Ville, il a été convenu d'appliquer un facteur de correction quasi-linéaire de la cote visuelle afin d'assurer une constance des relevés et d'obtenir des données se rapprochant adéquatement des conditions en place. Ainsi, une matrice de pondération quasi-linéaire a été utilisée. Cette matrice est présentée à la figure 4.19.

Lorsque la donnée se trouve entre deux valeurs entières, le graphique 4.1, issu des données de la figure 4.19, permet d'interpoler la nouvelle valeur de la condition globale. En ordonnée se trouve la valeur calculée par la série d'équations comme indiqué à la section précédente. Les différentes courbes portées en graphique reflètent les valeurs de l'évaluation globale trouvées en chantier par le responsable des relevés. Finalement, les résultats se trouvent en abscisse. Ces derniers deviennent la référence pour la mise en place des scénarios d'optimisation.

		Données provenant de la Ville					
		9	8	7	6	5	4
Données provenant des équations d'analyse	10		9,5	8,5			
	> 9,5		9,0	8,0	7,8	7,3	
	> 9,0		8,5	7,8	7,5	7,0	6,6
	> 8,5		8,0	7,5	7,2	6,8	6,4
	> 8,0			7,3	6,8	6,5	6,2
	> 7,5				6,5	6,2	5,9
	> 7,0				6,2	6,0	5,6
	> 6,5				6,0	5,8	5,2
	> 6,0					5,6	4,8

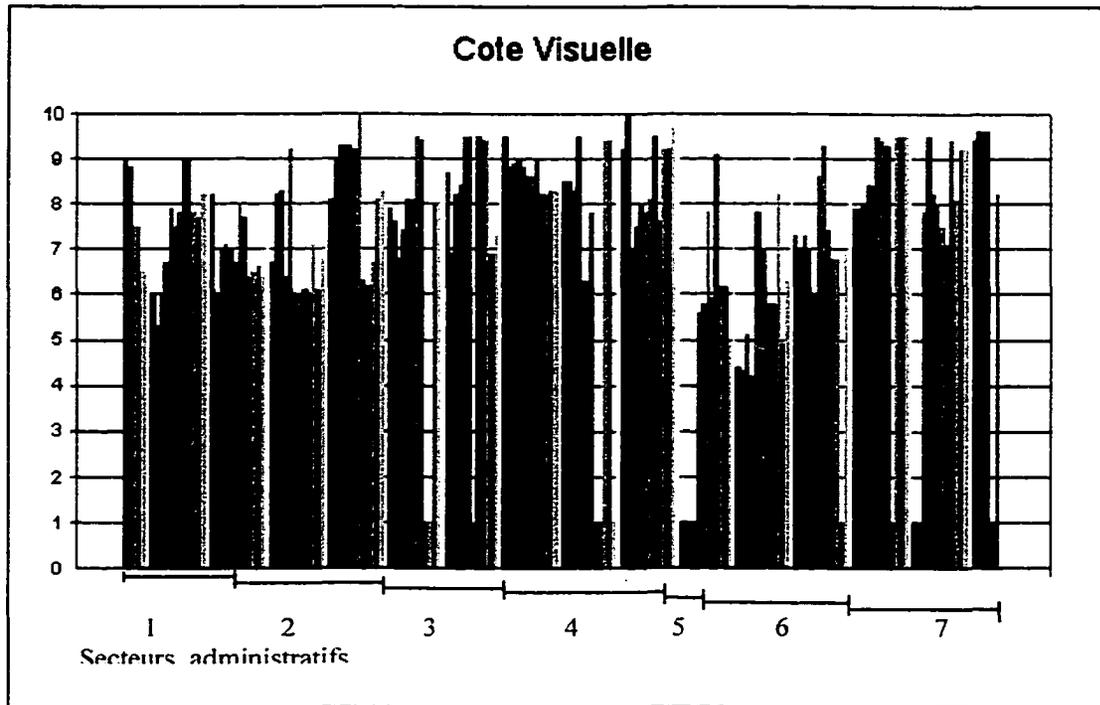
Figure 4.19 Pondération de l'état général de la chaussée.

La mise en place de cette forme de vérification ne semble pas être habituelle. Nulle part dans la littérature il a été possible de trouver une démarche de vérification ressemblant à celle proposée dans le cadre de ce travail. Le caractère exclusif de cette approche permet d'améliorer la qualité des données recueillies afin de créer la base de données.

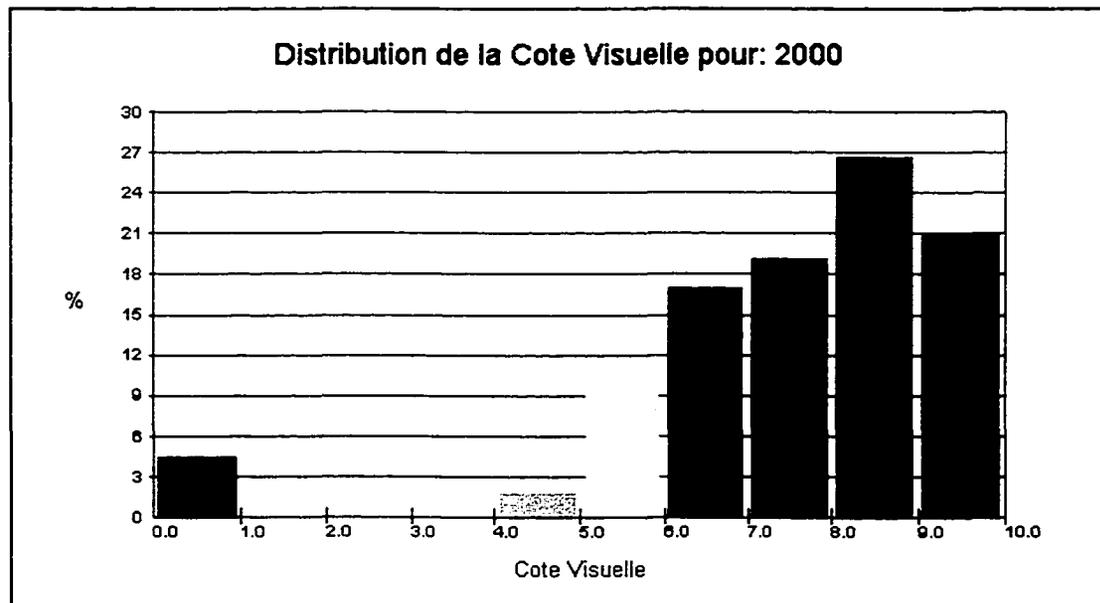


Graphique 4.1 Pondération pour interpolation.

La distribution de la cote visuelle de chacun des tronçons est présentée au graphique 4.2 et une approximation de la distribution de la cote visuelle pondérée est présentée au graphique 4.3.



Graphique 4.2 Distribution de la cote visuelle pour chacun des tronçons.



Graphique 4.3 Distribution de la cote visuelle en pourcentage du réseau.

Il est également intéressant de représenter, comme l'indiquent le tableau 4.6 et la figure 4.20, le pourcentage de la superficie ainsi que le nombre de tronçons du réseau en fonction de l'état de surface de chacun des tronçons.

Tableau 4.6

Résumé quantitatif des chaussées en fonction de l'état de la surface

Cote visuelle	État de la surface	Nombre de tronçons	Pourcentage de la superficie
0 à 2	Très dégradé	15	4,5 %
2 à 4	Dégradé	0	0 %
4 à 6	Passable	12	11,8 %
6 à 8	Bon	72	36,1 %
8 à 10	Très bon	94	47,6 %
Total		193	100,0 %

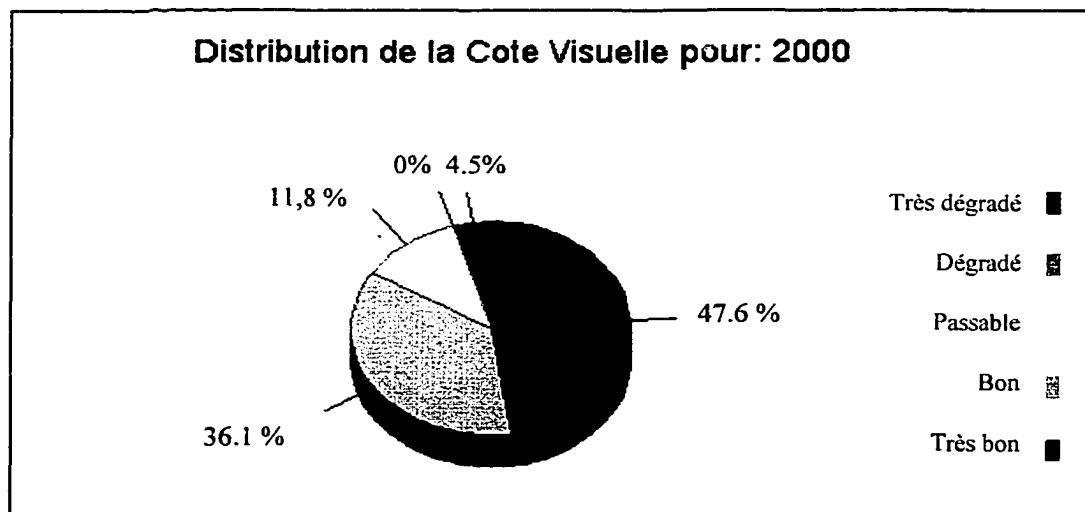


Figure 4.20 Distribution de la cote visuelle par catégorie.

Ainsi, de façon générale, le réseau étudié est en bon état, à l'exception d'une proportion d'environ 11 % (soit 6% des tronçons) dont l'état est qualifié de passable. Cette analyse exclut les chaussées non revêtues. Le réseau étudié possède en l'an 2000 une cote visuelle moyenne pondérée de 7,6.

La figure 4.21 montre la distribution de l'âge des rues du réseau étudié. Cette figure dévoile que 7 % des tronçons sont en service depuis plus de 30 ans et qu'environ 43 % de ceux-ci ont entre 10 et 20 ans. L'âge moyen du réseau se situe à environ 16 ans ; les rues ont donc été construites en moyenne en 1984.

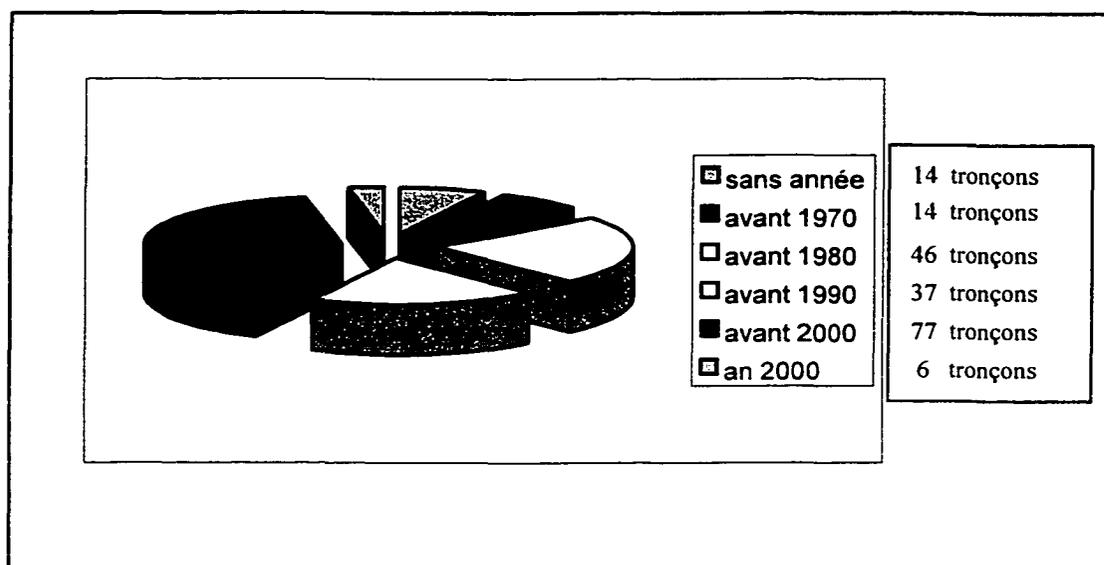


Figure 4.21 Distribution de l'âge des rues du réseau.

4.4 ÉTAPE 4 - Le développement des modèles de dégradation et le regroupement par famille

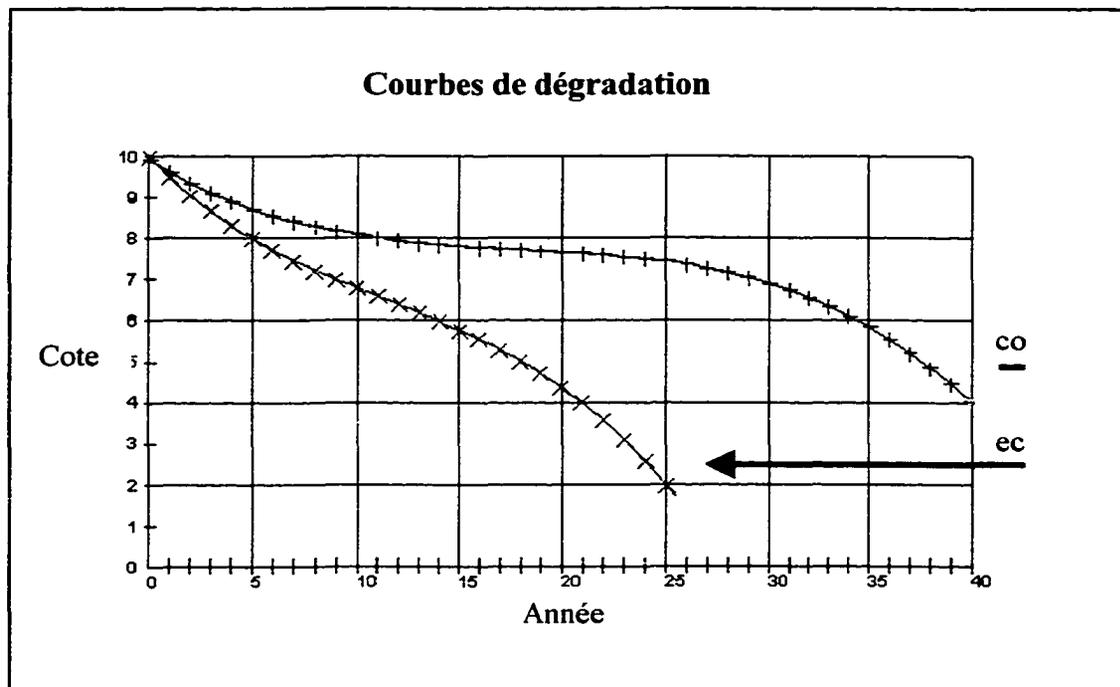
Tel que discuté à la section 3.3, la création de modèles de dégradation sert à prévoir l'entretien global du réseau, à tester l'effet à venir de différentes stratégies

d'entretien et à évaluer financièrement les niveaux de service désirés. Le modèle prédictif, comme son nom l'indique, sert à prédire la dégradation des tronçons de chaussées en se basant sur les observations de l'état actuel des chaussées. La prédiction de l'état de la chaussée est fondée sur une analyse de la courbe de dégradation de la chaussée en fonction de son âge.

Ainsi, à l'aide des informations recueillies dans les trois étapes précédentes, il est possible de créer une courbe de dégradation et de l'utiliser comme modèle prédictif du comportement à venir des tronçons ayant les mêmes caractéristiques et conditions de sollicitation que ceux ayant permis de créer le modèle.

Donc, il est possible de tracer des courbes relatives au comportement des divers tronçons composant le réseau de la Ville. La procédure consiste à mettre en graphique deux courbes pour lesquelles une combinaison entre l'année de construction ou de la dernière réhabilitation et la cote visuelle permet de représenter la migration de la qualité d'un tronçon en fonction du temps.

Le graphique 4.4 expose les modèles pour une chaussée neuve et une chaussée reconstruite. La courbe de dégradation de construction **co** permet de prévoir le comportement d'une chaussée neuve et la courbe **ec** d'une chaussée ayant subi une réhabilitation. La courbe de dégradation associée aux prédictions de comportement des chaussées ayant subi des travaux d'entretien correctif est nommée **ec**. Il faut souligner que les courbes proposées sont une moyenne de la dispersion de chacun des tronçons. Cependant, dans le cadre de l'implantation d'un système de gestion des chaussées, il est raisonnable de croire que le comportement des chaussées vieillissantes ressemblera aux tendances générales des tronçons du réseau routier à l'étude.



Graphique 4.4 Modèles de dégradation pour chaussée neuve et reconstruite de la Ville à l'étude.

Les familles :

Tel que discuté dans la section 3.3, le concept de famille, aussi appelé *unité d'analyse*, peut être défini de la façon suivante :

Une famille est un nombre élevé de tronçons soumis à un traitement statistique mettant en évidence le nombre de tronçons ayant atteint, par exemple, une maturité au niveau de leur vie utile. Les tronçons démontrant des caractéristiques de détérioration comparables devront être rassemblés dans une famille pour laquelle un modèle de dégradation théorique tentera de prédire la variation de la détérioration de la chaussée et sa structure, en identifiant un mode de

détérioration prévisible et commun. La différence de comportement structural de tronçons de la même famille est une réalité qui se traduit par les différentes combinaisons de défauts prenant place dans une loi de comportement théorique-statistique non exacte et souvent peu précise.

Les familles peuvent être regroupées en plusieurs catégories et selon différents paramètres d'évaluation comme par exemple :

- a. les tronçons ne demandant pas d'intervention à court terme;
- b. les tronçons ayant besoin de légers travaux de réhabilitation de surface;
- c. les tronçons pour lesquels semblent se poser des problèmes de structure;
- d. les tronçons construits entre les années 1960 et 1970;
- e. les tronçons desservant des secteurs industriels.

Lors de la création des familles, il est nécessaire d'avoir un nombre suffisant de tronçons pour assurer une corrélation adéquate entre les valeurs de relevé visuel "normales" et les valeurs "extrêmes". Généralement, il y a création de familles lorsque le réseau à l'étude contient plusieurs milliers de tronçons de route.

Dans le but de s'assurer que les courbes de dégradation proposées reflètent bien l'état général de la dégradation de chacun des tronçons du réseau de la Ville, des familles de tronçons ont été constituées et l'analyse a été refaite. Afin de s'assurer de l'application des modèles précédemment illustrés pour l'ensemble du réseau, tous les tronçons ayant été construits avant 1975 ont été regroupés et de nouveaux modèles de prédiction du comportement ont été produits. Le résultat permet de constater que les courbes sont pratiquement les mêmes que celles obtenues lors de l'analyse du réseau

complet. Il est donc possible que ces dernières courbes reflètent bien les prédictions de détérioration de l'ensemble du réseau.

4.5 ÉTAPE 5 - Les scénarios d'intervention

Dans sa gestion du réseau routier, la Ville à l'étude utilise la méthode de financement de ses infrastructures à l'aide de règlements d'emprunts chargés aux riverains. Cette politique permet à la Ville de facturer les améliorations locales aux principaux utilisateurs des infrastructures. Dans ce sens, il est recommandé que la Ville prévoit, dans son budget annuel d'opération, des sommes de telle sorte que les chaussées en très bon ou en bon état ne se retrouvent pas dans un état dégradé ou très dégradé, ce qui requerrait des interventions de reconstruction plus coûteuses. De façon générale, un dollar investi dans l'entretien préventif permet des économies à long terme de l'ordre de 10 dollars, alors qu'un dollar investi dans l'entretien correctif permet des économies de l'ordre de cinq dollars. Il est donc important de privilégier l'entretien de type préventif afin de minimiser les coûts d'entretien du réseau à long terme. Les montants utilisés pour fin de calcul sont généralement les suivants :

- a. entretien correctif 20,00 \$/m²;
- b. reconstruction 45,00 \$/m².

Les travaux d'entretiens correctifs :

Plusieurs types d'interventions sur la chaussée permettent d'en assurer la pérennité et accroissent sa durée de vie utile. Dès que l'administration envisage de réhabiliter une section de route, elle doit tout d'abord dresser une liste de toutes les alternatives d'intervention permettant à la chaussée de satisfaire les standards de

performance identifiés par le propriétaire. Le choix des techniques de réhabilitation doit se faire judicieusement.

De plus, il existe une limitation dans le nombre de fois qu'une chaussée peut être réhabilitée par des travaux d'entretien correctif avant quelle ne doive être reconstruite. Également, il est important que les travaux à caractère correctif ne soient pas trop retardés car la dégradation de la chaussée peut atteindre un niveau tel que seul des travaux de reconstruction pourront rétablir l'intégrité de la structure de la chaussée.

Les options d'analyse :

Il existe trois options d'analyse permettant d'identifier les scénarios optimisés d'intervention. La première option consiste à proposer une intervention lorsque la cote visuelle du tronçon atteint un seuil prédéterminé. La seconde tente de garder, par une série d'interventions, la cote visuelle moyenne du réseau à un niveau préalablement déterminé par le propriétaire. Finalement, la troisième consiste à optimiser les interventions à faire sur le réseau en fonction d'une enveloppe budgétaire fixe, mais indexée, sur toute la période de l'analyse.

Première option : valeur seuil prédéterminée

Lors de l'année d'analyse, les tronçons à l'étude sont qualifiés à l'aide d'une cote visuelle pondérée. Théoriquement, au fil des ans, cette valeur diminue jusqu'au moment où elle atteint une valeur seuil prédéterminée pour l'entretien correctif. Si la valeur du tronçon se trouve à l'extérieur de la plage d'intervention identifiée pour l'entretien correctif, le tronçon continue à se dégrader pour atteindre la valeur seuil d'intervention pour les travaux de reconstruction.

La figure 4.22 donne un exemple de l'état dans lequel se trouve un tronçon soumis à l'évolution de sa cote en fonction des valeurs seuils.

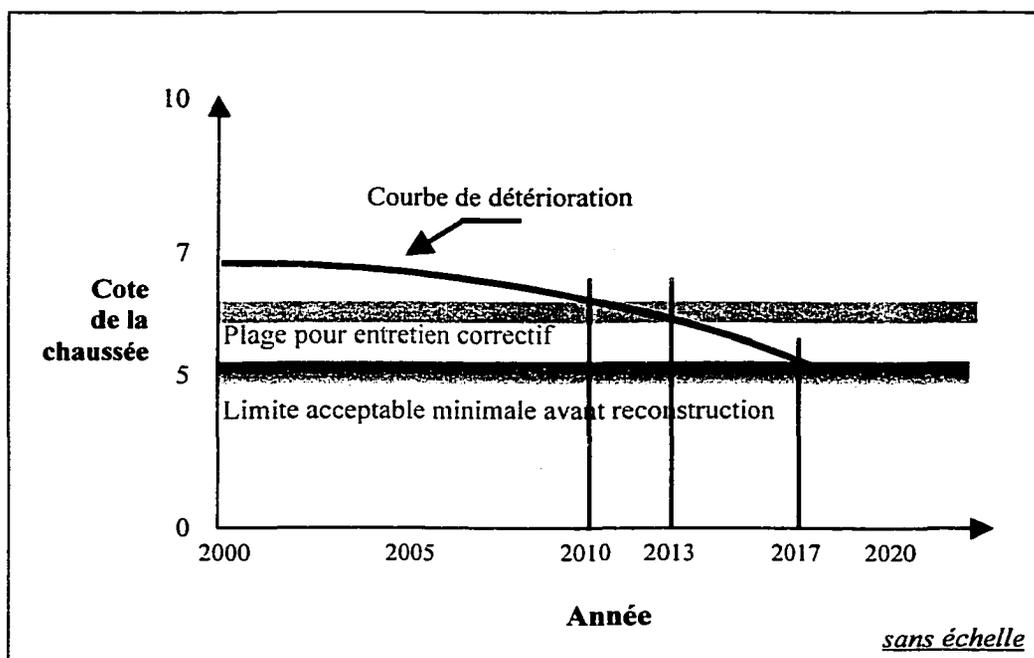


Figure 4.22 Exemple pour valeur seuil prédéterminée.

Si la cote visuelle initiale à l'année 2000 est de 7, comme l'indique le graphique, et que le modèle respecte le comportement général des tronçons de la Ville, un entretien correctif est prévu entre les années 2010 et 2013. Si les sommes ne sont pas disponibles afin de procéder à des travaux sur ce tronçon au cours de ces 4 années, il est préférable d'attendre en 2017 et de le reconstruire au complet.

Cette stratégie tient compte du désir du propriétaire de procéder à un entretien correctif lorsque les valeurs de la cote des tronçons atteignent des valeurs

d'environ 5,8 à 6,2 et de faire une reconstruction afin d'éviter que des tronçons se trouvent sous la cote 5.

Deuxième option : cote visuelle moyenne constante du réseau

Tel que décrit précédemment, la cote visuelle moyenne pour l'ensemble du réseau de la Ville à l'étude est de 7,6. Cette stratégie permet d'identifier la cote visuelle moyenne en service correspondant aux objectifs de gestion du conseil municipal. Ainsi, si le conseil de ville accepte de faire l'analyse sur une période d'une vingtaine d'années en considérant comme acceptable une cote visuelle moyenne en service de 6,8, ce scénario présente, d'après les cotes visuelles des différents tronçons et les courbes de dégradation retenues, des dépenses d'entretien et de reconstruction faibles au cours des premières années, pour ensuite connaître une importante croissance des sommes nécessaires afin de maintenir la cote souhaitée.

Ce phénomène s'explique par le fait que d'ici les années 2007 à 2010, près de 50% du réseau aura une cote visuelle se rapprochant du seuil d'intervention afin de maintenir la valeur moyenne à 6,8. Les dépenses d'entretien correctif, à ce moment, seront probablement très élevées. Par la suite, les dépenses, tant pour l'entretien que pour la reconstruction, se maintiendront à des niveaux plus stables.

Troisième option : enveloppe budgétaire fixe mais indexée

Cette option consiste à identifier les interventions d'entretien correctif et de reconstruction en fonction d'une enveloppe budgétaire pratiquement fixe mais connaissant une croissance relativement faible, basée sur l'inflation ou une prévision de celle-ci. Cette stratégie est très intéressante car elle permet de gérer les sommes investies dans les infrastructures, sans amputer d'autres projets municipaux nécessaires à la croissance de la municipalité. D'ailleurs,

généralement, les conseils municipaux tentent de garder les postes budgétaires les plus constants possibles afin d'être en mesure de faire face à toute situation imprévisible, comme par exemple la variation des transferts gouvernementaux provenant des paliers supérieurs.

Dans la mise en place de ce scénario, la première étape consiste à identifier les enveloppes budgétaires disponibles pour la reconstruction et les travaux d'entretiens correctifs. Généralement, chaque année, les sommes investies dans les infrastructures correspondent assez bien aux prévisions budgétaires faites lors de l'élaboration des plans triennaux et quinquennaux des immobilisations. Il arrive cependant que les enveloppes identifiées ne sont pas dépensées car il n'y a pas de tronçons répondant aux critères de réhabilitation ou de reconstruction.

Ce scénario n'est cependant pas à retenir car la Ville finance ses activités de réhabilitation de chaussées par des règlements d'emprunts facturés directement aux riverains. Donc, annuellement, les citoyens peuvent s'objecter aux travaux de réhabilitation prévus et débalancer cette stratégie qui ne serait plus adéquate.

Ainsi, dépendamment du scénario qu'il a retenu, le gestionnaire des infrastructures de chaussées, doit mettre en place des paramètres limitatifs reliés aux disponibilités budgétaires. Au niveau technique, la mise en place de valeurs seuils prédéterminées permet d'améliorer le rendement des sommes investies en fonction de leur contribution à l'accroissement de la qualité du réseau routier.

Actuellement, le réseau routier de la Ville à l'étude possède une cote globale visuelle relativement bonne (7,6) considérant que les tronçons non pavés amélioreront substantiellement la valeur de la cote visuelle. Au cours des prochaines années, la stratégie de la Ville devrait être d'investir les sommes en infrastructures routières au niveau des entretiens préventifs sur les tronçons ayant

une cote visuelle dont l'état de surface est qualifié de « bon », soit entre 6 et 8. De plus, les gestionnaires devraient réserver des sommes pour effectuer de l'entretien correctif sur les tronçons dont l'état de surface se situe sous la cote 6 mais supérieur à la cote 5.

Maintenant que la Ville connaît, pour l'année 2000, la cote visuelle de chacun des tronçons composant son réseau routier, elle doit s'assurer de suivre adéquatement l'évolution de la dégradation des tronçons afin de se doter de stratégies d'interventions basées sur les lois de comportement identifiées dans le cadre de cette étude.

La section suivante introduit la notion d'étude projet permettant au gestionnaire d'identifier les principales interventions à faire afin de procéder à une étude exhaustive d'une section faisant l'objet de travaux de reconstruction ou de réhabilitation.

4.6 Les études projets

Au fil des ans, la création d'une banque de données organisée et la mise en œuvre progressive de moyens de suivi et d'auscultation de l'état de dégradation des chaussées permettent de concentrer les investigations plus approfondies sur les tronçons de route les plus susceptibles de faire l'objet de travaux de réhabilitation.

Pour obtenir une indication de l'ampleur des travaux à exécuter, il convient pour les tronçons identifiés lors de l'analyse vue précédemment, d'évaluer les facteurs de portance, de qualité et d'épaisseur des matériaux. Aussi, les données sur la circulation lourde sont des informations pertinentes dans la conception et l'identification du type et de la méthode de réhabilitation préconisée.

L'étude projet met en lumière les solutions techniques applicables en fonction de l'état de dégradation du tronçon sur lequel le gestionnaire a fait le choix d'intervenir. Elle vise l'acquisition de données avancées sur l'identification, la caractérisation, l'utilisation ainsi que le comportement de la section à l'étude en tenant compte principalement de l'agressivité de la circulation.

Avant d'entreprendre toute auscultation nécessaire à faire des choix sur le type d'entretien, il faut s'assurer de bien connaître l'état des utilités publiques se trouvant sous l'infrastructure de rue. Il est difficile d'ignorer l'occupation du sous-sol par d'autres installations telles que les conduites d'aqueduc, de gaz et autres. L'entretien de ces différents réseaux occasionne très souvent des interventions sous forme de tranchées, qui causent ainsi préjudice à l'intégrité structurale de l'infrastructure de rue. Il suffit de constater le nombre de fouilles faites sur le tronçon à l'étude pour comprendre rapidement que les méthodes d'auscultation doivent tenir compte, dans plusieurs cas, d'une réfection d'un des services présents sous la chaussée.

Ainsi, les services retenant l'attention du gestionnaire des infrastructures sont ceux se trouvant dans l'emprise de rue (figure 4.23).

De plus, la qualité et les méthodes d'exécution des remblais mettent donc en doute la garantie que la section du tronçon qui a subi une intervention aura le même profil structural, la même capacité portante et la même sensibilité à l'eau en période de gel/dégel qu'avant les travaux.

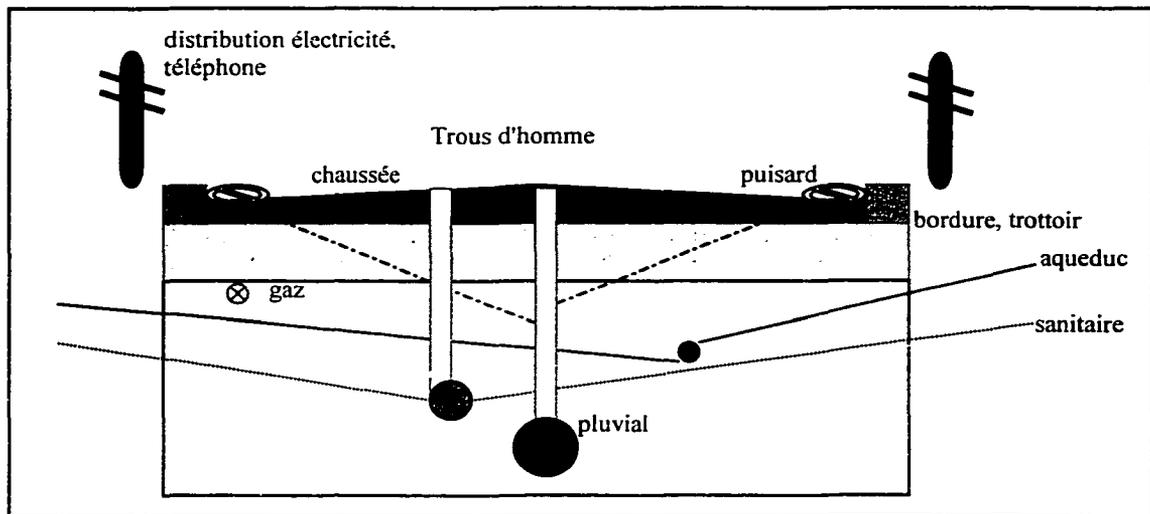


Figure 4.23 Les utilités publiques dans l'emprise de rue municipale.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans le cadre de cette recherche permettent aux gestionnaires et propriétaires une sensibilisation aux besoins en gestion des infrastructures municipales. Étant donné les coûts reliés à la mise en place d'un système de gestion des chaussées, cet exercice doit être effectué par des administrateurs ayant une vision à long terme de la gestion des réseaux de transport et de distribution. Il est aisément démontrable que ces types d'administration seront en mesure d'économiser, au fil de l'application d'un système de gestion, d'importantes sommes d'argent par un choix judicieux des techniques de réhabilitation à appliquer au moment assurant un rendement optimal des investissements.

L'auscultation

La mise en place d'un système de gestion des chaussées municipal met l'emphase sur l'importance de se doter d'un mécanisme de sélection des méthodes d'auscultation. Les critères de sélection de la performance des chaussées permettent de recueillir les données pertinentes à la création d'une base de données. La base de données est la plaque tournante du succès de la mise en place d'un tel système de gestion. Il est important de choisir les méthodes d'auscultation en fonction des objectifs de précision à atteindre et en respect des sommes disponibles au moment de l'exécution des travaux et des recherches. Sans contredit, le coût relié à la mise en place de la base de données est très important dans l'identification des méthodes retenues. Il faut que ces méthodes d'auscultation soient efficaces, accessibles, disponibles et permettent la répétabilité et la reproductibilité des résultats obtenus.

Les relevés

Lors de l'implantation d'un système de gestion, l'emphase est mise sur le caractère d'autonomie du service technique de la municipalité en permettant aux équipiers de la Ville d'effectuer le maximum d'opérations à l'interne. En formant les équipes de relevés, il est possible d'obtenir des données visuelles sur l'état de la dégradation de la chaussée. Au moment de l'analyse, ces données visuelles subissent un processus de validation. Aussi, une matrice de pondération, formée de courbes quasi-linéaires, a été créée afin d'améliorer la corrélation entre les différentes données obtenues lors des relevés en chantier et celles calculées en laboratoire. La mise en place de critères qualitatifs et quantitatifs, ajoutée à une série d'équations introduites dans l'analyse, permet de comparer les caractéristiques de chacun des défauts rencontrés sur la chaussée à une note globale pour la section à l'étude.

Cette méthode de validation des données offre un caractère de nouveauté car une recherche littéraire n'a pas permis de trouver des études ou des travaux similaires. Effectivement, il n'a pas été possible de retrouver de telles expériences mettant en comparaison une sommation de défauts pondérés et une valeur globale de confort au roulement.

Toutefois, étant donné le caractère subjectif de la quête de données concernant l'état de la condition visuelle des chaussées, il est pertinent de soumettre le réseau routier à une seconde analyse afin de connaître l'influence d'une matrice de pondération comme celle qui a été créée.

Les modèles prédictifs

L'analyse du comportement et de l'évolution de la dégradation des chaussées permet de créer des modèles prédictifs du comportement. Différents scénarios de regroupement de sections par famille conduisent à éliminer l'intérêt de posséder

plusieurs modèles de dégradation, étant donné la similitude du comportement et le nombre peu élevé des sections à l'étude.

Cependant, il est fort important de différencier les modèles de dégradation retenus pour la réfection et la reconstruction des sections de chaussées.

Les stratégies d'intervention

L'identification des stratégies d'intervention conduit le gestionnaire à mettre en place une politique de gestion qui est propre à son réseau. Que ce soit une stratégie reliée aux sommes budgétaires disponibles ou au niveau de service désiré par les exploitants et les utilisateurs du réseau, il est important d'identifier des valeurs seuils afin de guider la politique de gestion du réseau.

Étant donné la méthode de facturation aux riverains employée par la Ville, la meilleure stratégie est celle dictant des travaux de réfection et de reconstruction en regard de seuils minimums préétablis.

Le suivi

L'une des étapes les plus importantes de la mise en place d'un nouveau concept de gestion est le suivi des décisions prises afin d'améliorer les mécanismes en place. Il est primordial de savoir si les modèles de dégradation utilisés reflètent les conditions de détérioration des différents défauts de la chaussée se situant dans la classe moyenne. Ainsi, au fil des ans, il est possible d'évaluer la justesse de la prévision que donnent les modèles sur l'état réel du comportement.

Cette étape permet de réajuster les prévisions en regard du réel potentiel de risque de perte de l'indice global du réseau. Si les modèles prédictifs utilisés ne reflètent pas

suffisamment la réalité de l'évolution des chaussées du réseau, ils devront être revus afin d'améliorer la corrélation entre les prédictions et la réalité.

Les chaussées composant le système de gestion implanté dans ce projet de recherche évoluent au fil des années. Il faut donc améliorer constamment les données composant la base de données. Chaque fois qu'une intervention modifie le comportement potentiel d'une section, le gestionnaire doit noter dans la base de données toutes les informations pertinentes relatives à la modification de l'intégrité de la structure de chaussée. De cette façon, le gestionnaire peut s'attendre à ce que l'évolution de la dégradation de cette section du réseau ne respecte plus le comportement que les modèles prédictifs ont anticipé.

Les recommandations

Afin de s'assurer que la prédiction du comportement du réseau sur une période à long terme respecte les modèles qui ont permis de prévoir son évolution, il est fortement recommandé de revoir les données de l'état de la surface de chacune des sections de la chaussée à tous les trois ans. Il est nécessaire de mettre à jour les nouveaux défauts apparents et l'amplification de ceux déjà identifiés. Cette étape, post implantation, est utile pour améliorer la connaissance du réseau et identifier plus adéquatement les meilleures techniques de réhabilitation en regard de l'évolution des différents défauts.

De plus, lorsqu'une politique de gestion est choisie, il est essentiel de respecter les paramètres initiaux ayant conduit à identifier le moment et le type d'intervention applicables aux différents tronçons. Si, en cours d'analyse, différents paramètres comme les valeurs seuils sont modifiés, tout le processus de sélection du moment et des choix du type d'intervention sont à refaire.

Finalement, lors de la quête des données en chantier, il est capital de garder une certaine constance au niveau des équipiers affectés aux relevés. Plus le nombre de personnes impliquées est élevé, moins grande est la corrélation entre les différentes données recueillies lors de l'auscultation. Il est également souhaitable, que la deuxième série d'évaluations, trois ans plus tard, soit effectuée par le même personnel que lors de la première évaluation.

Les perspectives

L'amélioration de la connaissance de l'état des réseaux de transport et de distribution municipaux permettra, au fil des ans, d'améliorer les stratégies de gestion leur étant propres. De plus, la recherche entourant les techniques d'auscultation et de réfection des chaussées accroîtra sans l'ombre d'un doute la durée de vie utile des chaussées existantes.

Un système de gestion des chaussées est un outil polyvalent auquel peuvent se greffer plusieurs composantes électroniques et informatiques. Au fur et à mesure de l'avancement des connaissances reliées aux technologies mécaniques d'auscultation et informatiques de gestion, il deviendra plus facile de justifier les dépenses requises à l'élaboration d'un tel système.

Malgré qu'une croissance imminente de l'implantation de systèmes de gestion des chaussées municipales se fasse sentir, la prolifération à grande échelle de ces systèmes ne verra le jour que lorsqu'une loi cadre émanant des niveaux supérieurs des gouvernements obligera les administrateurs de réseaux routiers à justifier le choix de leurs immobilisations.

BIBLIOGRAPHIE

- AASHTO (1998). Thinking beyond the pavement. American highway and transportation magazine, Vol. 77 (No.3).
- Autret, P., Brousse, J.L. (1994). VIZIR : méthode d'évaluation des chaussées souples. Gestion de l'entretien de la route, *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*, spécial XVII, pp 129-136.
- Baladi, G.Y. (1990). Analysis of distress data, pavement distress indices and remaining service life (1^{ère} édition). Washington : FHWA.
- Bayle, D. (1994). SAGER : système d'aide à la gestion routière. Gestion de l'entretien de la route, *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*, spécial XVII, pp 95-104.
- Bergeron, C. (1999). Développement des courbes de comportement des chaussées souples du ministère des Transports du Québec (1^{ère} édition). Mémoire de maîtrise. École de technologie supérieure, Montréal.
- Chong, G.J., Phang, W.A., Wrong, G.A. (1989) Manual for conditioning rating of flexible pavement- distress manifestations. Ministry of Transport of Ontario : research and development branch, Toronto.
- C-SHRP, (1997). Bayesian modelling : a user guide. Ottawa : Canadian Strategic Highway Research Program, Transportation Association of Canada.
- De Montigny, P. (1989). Design des chaussées flexibles : méthode du ministère des Transports. Cours GCI-A0470. Université Laval, Ste-Foy.
- Durand, J.M., Doré, G. (1993). Manuel d'identification des dégradations des chaussées flexibles (édition 1993). Québec : ministère des Transports du Québec.
- Haas, R., Hudson, W.R., Zaniewski, J. (1994). Modern Pavement Management. Floride, Malabar : Krieger Publishing Company.

- Hadley, W.O. (1994). Strategic highway research program - long term pavement performance overview: five year report. Washington D.C.: National Research Council.
- Heleven, Ir.L. (1990). La saisie de données . Route et informatique. Belgique : ministère des Travaux Publics.
- Kali, O. (1999). Élaboration d'un système intégré de gestion des infrastructures urbaines (1^{ère} édition). Mémoire de maîtrise. École de technologie supérieure, Montréal.
- Langlois, P. (1997). Formulation des méthodes LC. Ministère des Transports du Québec: Les publications du Québec, Québec.
- Larivée, B. (1999). Évaluation du comportement des chaussées suivi au sein du C-SHRP. Projet d'application. École de technologie supérieure, Montréal.
- LeBlanc, F. (1992). La commission de la capitale nationale et la gestion des ressources en fonction du cycle de vie (1^{ère} édition). Ottawa: Commission de la capitale nationale.
- Metropolitan Toronto Department of Roads and Traffic (1990). Report on pavement management system program. Toronto: the municipality of metropolitan Toronto.
- Paterson, D.E. (1987). National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 135 : Pavement Management Practices. Washington D.C. : *Transportation Research board, National Research Council*.
- PMS (1996). Pavement Management System, user's guide (édition 1998). Toronto : John Emery Geotechnical Engineering Limited.
- Shahin, M.Y., Walther, J.A. (1990). Pavement maintenance management for roads and streets using the Paver System. US Army Corps of Engineers: Construction Engineering Research Laboratory.
- SHRP (1994). Evaluation of the AASHTO Design Equations and Recommended Improvements. Washington: National Research Council.
- SHRP-1 (1994). SHRP-LTPP Overview ; Five-Year Report. Washington: National Research Council.
- SHRP (1995). Strategic Highway Research Program published reports and videos. Washington: Office of technologies applications.

Thébeau, D. (1997). Manuel d'identification des dégradations des chaussées en béton de ciment (édition 1997). Québec : ministère des Transports du Québec.

Uzarski, D.R., Soule, R.C. (1986). The practical use of PAVER in planning, programming, and developing projects for pavement maintenance and repair. US Army Corps of Engineers: Construction Engineering Research Laboratory.

Yoder, E.J., Witczak M.W. (1975). Principles of Pavement Design (2ième édition). John Wiley and Sons.

Sites internet :

<http://hdm4.piarc.appdetail-e>

<http://hdm4.piarc.org/info/appdetail-e.htm#Functions>

<http://hdm4.piarc.org/info/HDMfeatures-e.html#Overview>

<http://ideas.uqam.ca/ideas/data/fthwodate.html>

<http://www.hend.com/shrp>

<http://www.ota.fhwa.dot.gov/pubs/FOCUS/37pav.htm>

<http://www.paver.com>

<http://www.roadsource.com/hdm/>

<http://www.romdas.com>

<http://www.tfhr.gov/pavement/ltp>

<http://www.transportation.org/publications/bookstore.nsf/>