



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Systemes de gestion des réseaux routiers secondaires et locaux – La systématique du CRR



Méthode de mesure

Le Centre de recherches routières (CRR) est un institut de recherche privé impartial fondé en 1952. Il exerce son activité au bénéfice de tous les partenaires du secteur routier belge. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes les activités du CRR. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur routier entre autres par le biais de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information, Bulletins CRR et Dossiers, rapports d'activités). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Plus d'informations sur nos publications et activités: www.crr.be

Méthode de mesure MF 94

Systemes de gestion des réseaux routiers secondaires et locaux
La systématique du CRR

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2018

Auteurs

Carl Van Geem (CRR)

Remerciements

Nous remercions Erwin Zwart (SWECO) pour sa relecture du § 3.1 concernant la méthodologie CROW, ainsi que Margo Briessinck (AWV) pour sa relecture du § 3.2 concernant le PMS de l'AWV et les photos de l'ARAN et du SKM

Avertissement

Bien que le présent compte rendu de recherche ait été établi avec le plus grand soin, des imperfections ne sont pas à exclure. Ni le CRR, ni ceux qui ont collaboré à la présente publication ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies, qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel.

Systemes de gestion des réseaux routiers secondaires et locaux – La systématique du CRR / Centre de recherches routières. – Bruxelles : CRR, 2018. – 96 p. – (Méthode de mesure, 1376-9324 ; MF 94).

Dépôt légal: D/2018/0690/1

© CRR – Tous droits réservés.

Lexique

Bande de circulation: subdivision de la chaussée permettant la circulation d'une file de véhicules, souvent délimitée par des marques sur chaussée.

Chaussée: surface revêtue de la route sur laquelle circulent les véhicules.

Durée de vie d'une structure routière: nombre d'années qui s'écoule entre l'année où la structure routière est mise en service et celle où elle atteint son état limite (et devra être totalement remplacée).

Indicateur (performantiel) combiné: nombre avec ou sans dimension qui est associé à au moins deux propriétés techniques de la sous-section de route et qui exprime une évaluation de la combinaison de ces propriétés techniques.

Indicateur (performantiel) général: combinaison d'indicateurs (performantiels) individuels et/ou combinés qui donne une évaluation globale de l'état d'une sous-section de route (et qui combine donc différents types d'évaluations dans un seul et même score).

Indicateur (performantiel) individuel: nombre avec ou sans dimension qui exprime une propriété de la sous-section routière.

Paramètre technique: paramètre qui exprime une propriété physique de l'état dans lequel se trouve une sous-section de route et prend généralement la forme d'un nombre avec une unité.

Réseau routier: ensemble des routes dans une région donnée (généralement sous la responsabilité d'un même gestionnaire).

Route de collecte: route servant à collecter la circulation des routes de desserte et à la diriger vers des routes plus importantes.

Route de desserte locale: route destinée uniquement au trafic local.

Route de transit: route destinée au trafic en transit.

Section de route: partie de la route qui divise celle-ci à l'aide de délimitations perpendiculaires à l'axe de la route et qui est indivisible sur toute la largeur de la route.

Sous-section de route: partie d'une section de route qui divise celle-ci à l'aide de délimitations parallèles à l'axe de la route et qui est indivisible sur toute la longueur de la route.

Structure routière: structure d'une chaussée.

Système de gestion des actifs matériels (Asset Management System – AMS): ensemble des procédés et des méthodes dont disposent les décisionnaires pour établir des stratégies rentables pour la construction, l'auscultation et l'entretien de l'ensemble du patrimoine à gérer.

Système de gestion des chaussées (Pavement Management System – PMS): ensemble des procédés et des méthodes dont disposent les décisionnaires pour établir des stratégies rentables pour la mise en oeuvre, l'auscultation et l'entretien des routes ou des réseaux.

Système de gestion des ponts (Bridge Management System – BMS): ensemble des procédés et des méthodes dont disposent les décisionnaires pour établir des stratégies rentables pour la construction, l'auscultation et l'entretien des ponts.

Liste des abréviations

AMS	<i>Asset Management System</i> (système de gestion des actifs matériels)
APL	Analyseur de profil en long
APMS	<i>Airport Pavement Management System</i> (gestion des revêtements aéroportuaires)
ARAN	<i>Automatic Road Analyzer</i>
AWV	<i>Agentschap Wegen en Verkeer</i>
BMS	<i>Bridge Management System</i> (système de gestion des ponts)
CFT	Coefficient de frottement transversal
IG	Indicateur global
I_G	Indice global
I_S	Indice structurel
I_V	Indice visuel
INS	<i>Inertial Navigation System</i> (système qui établit la position, l'orientation et la vitesse à l'aide de capteurs tels que des accéléromètres et des gyroscopes)
LCCA	<i>Life Cycle Cost Analysis</i>
PASER	<i>Pavement Surface Evaluation and Rating system</i>
PCI	<i>Pavement Condition Index</i>
PMS	<i>Pavement Management System</i> (système de gestion des routes)
SAND	Système d'acquisition numérique de données
TAMC	<i>Transportation Asset Management Council</i>
CP	Coefficient de planéité

Table des matières

1	Patrimoine routier	11
1.1	Valeur originelle du patrimoine routier	11
1.2	Durée de vie d'une route: longue, mais pas infinie	12
1.3	Un entretien correct et dans les temps: un investissement dans le patrimoine routier	12
1.4	Autres éléments du patrimoine – <i>Asset Management</i>	13
2	Qu'est-ce qu'un système de gestion des routes?	15
2.1	Définition d'un PMS	15
2.2	Paramètres techniques et indicateurs	15
2.3	Mesures d'entretien	16
2.4	Résultats d'un PMS	17
3	Quelques exemples de PMS en action	19
3.1	Méthodologie CROW (Pays-Bas)	19
3.1.1	Inspection visuelle	19
3.1.2	PMS utilisé par les villes, les communes et les provinces	20
3.2	Approche de l'AWV pour les autoroutes (Flandre)	22
3.2.1	Appareils de mesure et indicateurs	22
3.2.2	PMS avec modèle sur mesure	24
3.3	Gestion des routes dans l'Etat du Michigan (Etats-Unis)	25
3.3.1	Inspection visuelle: PASER	26
3.3.2	PMS pour les routes locales de l'Etat de Michigan	26
3.3.3	Utilisation des données d'inspection au niveau du projet	27
3.3.4	Un autre indicateur: le PCI pour les routes et les aéroports	28
4	Aperçu de la systématique CRR pour les PMS	29
4.1	Inventaire du réseau routier	29
4.2	Inspection visuelle	29
4.3	Indicateur: l'indice global	30
4.4	Prévision de l'évolution de l'indice global dans le temps	31
4.5	Trois types de mesures d'entretien	31
4.6	Entretien lorsque les valeurs-seuils sont atteintes pour l'indice global	32
4.7	Comparaison des stratégies d'entretien	33
4.8	Une aide lors de la prise de décisions	36
4.8.1	Choix d'une stratégie d'entretien optimale d'un point de vue financier et technique	36
4.8.2	Impact d'un budget limité sur l'état du réseau	36
4.8.3	Début d'un plan d'approche	36
4.9	Origine, point fort et limites de la systématique du CRR	37
5	Inventaire d'un réseau routier	39
5.1	Subdivision du réseau routier	39
5.1.1	Entités, quartiers	39
5.1.2	Par type de matériau à la surface de la route	40
5.1.3	Selon la fonction de la route (desserte, collecte ou transit)	40
5.1.4	Sections et sous-sections de route (règles pratiques de subdivision)	40

6	Inspection visuelle et paramètres techniques y associés	43
6.1	Inspections visuelles selon la méthode de mesure du CRR	43
6.1.1	Dégradations à encoder	43
6.1.1.1	Dégradations sur un revêtement bitumineux	43
6.1.1.2	Dégradations sur un revêtement en béton	44
6.1.1.3	Dégradations sur un revêtement modulaire	44
6.1.2	Inspection par moitié de sous-section de route	44
6.1.3	Pourcentage de la surface atteint par une dégradation	45
6.2	Outils lors des inspections visuelles (liste énonciative)	45
6.2.1	A pied avec une feuille de papier	46
6.2.2	A pied avec une tablette	46
6.2.3	Le système SAND du CRR	46
6.2.4	Tablette à bord du véhicule	46
6.2.5	L'application imajbox® du CRR	46
6.2.6	Prendre des photos à pied, examiner les photos	47
7	Indicateurs	49
7.1	Indice visuel	49
7.2	Indice structurel	50
7.3	Indice global	51
8	La boule de cristal de la systématique du CRR	53
8.1	Lois d'évolution standard	53
8.2	Impact d'une mesure d'entretien sur l'indice visuel, structurel et global	54
8.3	Lois d'évolution après l'exécution d'une mesure d'entretien	55
8.4	Impact du trafic: fonction de la route, croissance annuelle	56
8.5	Origine, point fort et limitations des lois d'évolution dans la systématique du CRR	58
9	Mesures d'entretien	59
9.1	Réparations locales, réparations générales et renforcement	59
9.1.1	Pour les revêtements bitumineux	60
9.1.2	Pour les revêtements en béton	61
9.1.3	Pour les revêtements modulaires	62
9.1.4	Motivations et limitations du choix des mesures d'entretien	62
9.2	Détermination du prix unitaire de chaque mesure d'entretien	63
9.3	Le «modèle d'épargne» économique	63
9.3.1	Mesure d'entretien générale	64
9.3.2	Réparations locales	64
9.3.3	Détermination du moment optimal	65
9.3.4	Modèle simplifié de détermination des valeurs-seuils	66
9.4	Valeurs-seuils pour l'indice global	68
9.4.1	Des valeurs-seuils économiquement justifiées pour l'indice global – Le modèle d'épargne	68
9.4.1.1	Choix des paramètres du modèle	69
9.4.1.2	Déterminer les valeurs-seuils sans simplifier le modèle	70
9.4.2	Valeurs-seuils justifiées d'un point de vue technique pour l'indice global – Processus de vieillissement d'une route	74
10	Stratégies d'entretien	77
10.1	Combinaisons de mesures d'entretien	77
10.2	Comparaison des stratégies d'entretien	77
10.3	Effets du choix d'une stratégie sur l'état du réseau routier	78
10.4	Planification avec un budget annuel restreint	78
10.5	Amortissement optimal des investissements	79

10.6	Choix entre les mesures lorsque le budget est trop serré	80
10.7	Prise en compte des parties de réseau ou des souhaits spécifiques	81
10.8	Indicateur pour la priorité des travaux	81
11	Présentation et communication des résultats d'une analyse PMS	83
11.1	Listes	83
11.2	Graphiques	83
11.3	Cartes	85
12	De la gestion du réseau à la planification du projet	87
12.1	PMS comme soutien pour la gestion du réseau	87
12.1.1	Etablir les priorités	87
12.1.2	Entretien préventif	88
12.1.3	Vision à moyen terme	88
12.2	Obtenir des informations supplémentaires des données d'inspection	88
12.2.1	Tendances au niveau du réseau	89
12.2.2	Sous-sections de route non homogènes	89
12.2.3	Premières indications de dégradations	89
12.3	Amorce de la préparation du projet	89
12.3.1	Se rendre sur place, réaliser si nécessaire des inspections supplémentaires	90
12.3.2	Prise en compte des conditions connexes	90
12.3.3	Prise en compte des autres éléments (trottoirs, pistes cyclables, égouts, etc.)	91
12.3.4	Budget limité	91
12.3.5	Qualité de l'exécution	91

Liste des figures

Figure 1	Le véhicule de mesure ARAN de l'AWV	23
Figure 2	Le véhicule SKM de l'AWV	23
Figure 3	Représentation de l'évolution de la qualité d'une sous-section de route sous la forme d'un graphique simple	83
Figure 4	Représentation de l'évolution des coûts par année pour les mesures proposées par une stratégie sous la forme d'un graphique en colonnes	84
Figure 5	Représentation des coûts par année pour chaque mesure sous la forme d'un graphique en colonnes, avec tableau	85
Figure 6	Représentation sur carte de la répartition des sous-sections de route en classes de qualité selon l'indice global (blanc pour $I_g > 0,8$, gris clair pour $0,8 \geq I_g > 0,5$, gris foncé pour $0,5 \geq I_g > 0,3$, noir pour $I_g \leq 0,3$)	85
Figure 7	Représentation sur carte des sous-sections de route dont l'indice global se rapproche d'une valeur-seuil entre deux classes de qualité (blanc à proximité de la valeur-seuil 0,8, gris à proximité de la valeur-seuil 0,5, noir à proximité de la valeur-seuil 0,3)	86

Liste des tableaux

Tableau 1	Cinq niveaux de qualité pour les sous-sections de route après l'inspection globale CROW	20
Tableau 2	Valeurs-seuils pour l'indice global et mesures d'entretien y associées pour différentes stratégies d'entretien (les cases vides indiquent que la mesure n'est pas appliquée dans cette stratégie)	34
Tableau 3	Variantes des différents types de réparations dans la systématique du CRR	35
Tableau 4	Paramètres utilisés pour exprimer l'impact du trafic et calculer le facteur K	57
Tableau 5	Indication très générale du moment (en années après la construction) où l'on peut s'attendre à ce qu'un type de réparation soit nécessaire pour la première fois sur des routes respectivement en enrobé, en béton et en pavés et ayant respectivement une fonction de desserte, de collecte et de transit	60
Tableau 6	Prix unitaires originellement utilisés (1990) pour établir les valeurs-seuils	66
Tableau 7	Variantes de mesures d'entretien et prix (récents) pour la détermination des valeurs-seuils	67
Tableau 8	Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution pour les routes bitumineuses (sans réaliser de réparations locales)	69
Tableau 9	Prix du modèle économique non simplifié	70
Tableau 10	Moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié	71
Tableau 11	Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route	72
Tableau 12	Moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié – scénario alternatif	72
Tableau 13	Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route – scénario alternatif model	73
Tableau 14	Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route et lorsqu'aucune réparation locale n'a eu lieu	73
Tableau 15	Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution des routes en béton (sans réparations locales)	74
Tableau 16	Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution des routes à revêtements modulaires (sans réparations locales)	74

Avant-propos

Tout l'art du gestionnaire routier consiste à investir au bon moment dans un entretien techniquement justifié, et qui permet de continuer à fournir sur le long terme, avec un minimum de moyens financiers, les performances souhaitées. L'objectif est bien entendu qu'une chaussée neuve puisse tenir vingt ou trente ans, voire plus parfois, avant de devoir être totalement remplacée.

Lorsqu'il doit prendre des décisions stratégiques concernant des investissements à réaliser dans l'entretien des routes, le gestionnaire peut se baser sur un système de gestion des routes (*Pavement Management System – PMS*). Il s'agit d'un processus systématique d'entretien, de modernisation et d'exploitation du patrimoine, associant des principes d'ingénierie à des pratiques commerciales et à une justification économique solides, et fournissant des outils pour une approche plus organisée et plus flexible de prise des décisions nécessaires afin de répondre aux attentes de la population. Il s'agit également d'un outil permettant au gestionnaire de communiquer au sujet des décisions prises et de l'impact qu'elles devraient avoir sur la qualité du réseau routier.

La présente publication décrit la systématique développée par le CRR pour les réseaux routiers communaux, urbains ou comparables (à partir du chapitre 4). Au préalable, les chapitres 1 et 2 traitent en profondeur, entre autres choses, de la valeur d'un patrimoine routier, de l'utilité d'un entretien réalisé correctement et en temps voulu, et de ce qu'est un système de gestion des routes. Le chapitre 3 présente quelques exemples de PMS en action en Belgique et à l'étranger.

La systématique du CRR pour la gestion des réseaux se limite à la partie accessible aux véhicules (la chaussée). La méthode d'inspection visuelle appartenant à cette systématique est l'objet de la publication CRR *Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier* (MF 89/15).



Chapitre 1

Patrimoine routier

Le patrimoine routier est l'ensemble de l'infrastructure routière qui se situe sous la compétence d'un gestionnaire routier et qui a été constitué au fil des ans. Les investissements nécessaires à la construction de ce patrimoine ont été répartis par le passé sur une longue période. Outre l'investissement initial, il faut aussi penser à investir dans l'entretien nécessaire afin de maximiser le rendement de cet investissement de départ.

Le rendement financier d'un investissement est un concept économique qui est directement lié à l'état technique dans lequel se trouvent les routes. L'investissement initial a en effet été motivé par le souhait d'offrir un service aux usagers et aux riverains, service qui doit en outre être garanti «pour toujours». On attend généralement du patrimoine routier qu'il offre un certain niveau de qualité.

Tout l'art du gestionnaire routier consiste à investir au bon moment dans un entretien techniquement justifié, et qui permet de continuer à fournir sur le long terme, avec un minimum de moyens financiers, les performances souhaitées. Par long terme, on entend dans le cas d'une chaussée une période de quelques dizaines d'années. En effet, on espère qu'une chaussée nouvellement réalisée tiendra au moins vingt à trente ans, voire plus, avant de devoir être remplacée totalement.

La littérature fait souvent une distinction entre l'entretien curatif et l'entretien préventif. L'entretien curatif signifie que l'on intervient lorsqu'une dégradation est apparue et observée, et qui a pour conséquence que la performance de la route peut être considérée comme insuffisante. L'entretien préventif est lui réalisé afin d'empêcher l'apparition de dégradations.

Pour s'aider lorsqu'il doit choisir entre les différentes stratégies d'entretien du patrimoine routier, le gestionnaire peut utiliser un système de gestion, qui prend souvent la forme d'un logiciel de simulation. Ce logiciel effectue des calculs sur base de données qui décrivent l'état actuel des routes. Généralement, ces données sont collectées au préalable lors d'une inspection de l'ensemble du réseau. Cette inspection peut se faire de différentes façons, selon le type et l'étendue du réseau.

Un système de gestion des routes (*Pavement Management System - PMS*) est un processus systématique d'entretien, de modernisation et d'exploitation du patrimoine, associant des principes d'ingénierie à des pratiques commerciales solides et à une justification économique, et fournissant des outils pour une approche plus organisée et plus flexible de prise des décisions nécessaires pour répondre aux attentes de la population.

La présente publication se limite à la partie circulaire par les véhicules (la chaussée). Le système développé par le CRR et présenté dans ces pages (à partir du chapitre 4) est destiné aux réseaux routiers communaux ou urbains, ou comparables.

1.1 Valeur originelle du patrimoine routier

Environ 90 % de l'ensemble des routes belges sont gérés par une commune. Les communes disposent généralement d'un important patrimoine routier, dont l'historique remonte loin dans le temps. L'entretien de ce patrimoine incombe donc aux services communaux et à leurs responsables politiques. La première question que peut se poser le gestionnaire d'un tel patrimoine est: quelle valeur représente-t-il?

Pour obtenir rapidement une idée de la valeur du patrimoine routier d'une commune, un calcul très simple peut être effectué. Imaginons que l'ensemble du patrimoine routier devrait être construit aujourd'hui. Quel serait alors l'investissement nécessaire? Lorsqu'on connaît le prix que représente un mètre carré de route et lorsqu'on connaît la surface totale qu'occupe le réseau routier, la valeur à l'état neuf du patrimoine routier est alors le produit de ces deux nombres.

Lorsque le réseau routier est constitué de 150 km de routes rurales de 3,5 m de large en moyenne et de 80 km de routes de 6 m de large en moyenne, alors la surface totale du réseau routier est égale à $(150 \text{ km} \times 3,5 \text{ m} + 80 \text{ km} \times 6 \text{ m}) = 1\,005\,000 \text{ m}^2$. Lorsque le prix d'1 m² de chaussée neuve est de 95 € la valeur à l'état neuf de ce réseau est alors de $(1\,005\,000 \text{ m}^2 \times 95 \text{ €/m}^2) = 95\,475\,000 \text{ €}$

1.2 Durée de vie d'une route: longue, mais pas infinie

Avant de procéder à la construction d'une route, le gestionnaire doit avoir évalué si celle-ci est souhaitée. Le trafic en transit, les (futurs) riverains, les (futurs) entreprises proches, les cyclistes, les piétons, etc.: toutes les parties concernées ont des attentes que la route devra satisfaire.

Lorsqu'une route est construite, des choix sont faits concernant la composition de sa structure. Selon la classe de construction, et donc selon le trafic qui utilisera cette route, un choix sera effectué parmi les différents structures de route. L'idée sous-jacente lors de ce choix est qu'il faut construire une route qui pourra supporter la charge de trafic prévue pendant une longue période. Cette période – la durée de vie de la route – n'est toutefois pas infinie. Généralement, une route est dimensionnée pour durer entre vingt et quarante ans. Même lorsque dans certains cas, la route est en service plus longtemps que sa durée de vie théorique prévue lors de la conception, celle-ci devra à un moment donné être réparée en profondeur voire totalement reconstruite.

Lors de la construction d'une nouvelle route, le gestionnaire consacre donc un certain montant comme investissement initial dans un produit (la route) qui a une durée de vie longue mais limitée. Cela veut également dire que le gestionnaire sera prêt à la remplacer par une nouvelle lorsqu'elle aura atteint le terme de sa durée de vie.

Pour évaluer rapidement ce que cela représente pour une commune comme poste budgétaire récurrent annuel, nous pouvons réaliser le simple calcul qui suit.

En supposant qu'une route peut durer en moyenne quarante ans, il faut alors remplacer chaque année 1/40^e du réseau routier. Si nous prenons l'exemple de la section précédente, où la valeur à l'état neuf de l'ensemble du réseau routier était égale à 95 475 000 € alors nous pouvons nous attendre à un coût de remplacement annuel de $95\,475\,000 \text{ €} / 40 \text{ ans} = 2\,386\,875 \text{ €/an}$.

1.3 Un entretien correct et dans les temps: un investissement dans le patrimoine routier

Etant donné que le patrimoine routier d'une commune a une grande valeur, il importe que l'investissement initial ait un rendement élevé. En investissant dans les temps dans un entretien adéquat, la durée de vie prévue sera atteinte et la route pourra offrir aux usagers les services souhaités. Envisagé de la sorte, l'entretien est un investissement visant à optimiser le rendement de l'investissement initial, il n'est donc pas un coût.

Un entretien préventif réalisé dans les temps est généralement un bon investissement. Reporter un entretien a en effet pour conséquence qu'une même mesure, relativement peu onéreuse, n'aura plus le

même effet et qu'il sera donc nécessaire d'appliquer une mesure plus coûteuse. Des réparations locales, limitées à de petites surfaces, sont moins onéreuses que des réparations générales de la surface de la route sur toute la longueur de la section. Celles-ci sont à leur tour bien moins onéreuses que des travaux nécessitant d'intervenir sur la fondation.

Cette approche financière de la construction et de l'entretien des routes introduit les questions suivantes, auxquelles une réponse argumentée et objective peut être donnée en utilisant un «système de gestion des routes»:

- quelle partie du patrimoine routier doit être entretenue en priorité et avec quel type d'entretien (et ce sans aucune limitation budgétaire)?;
- quelle est, d'un point de vue stratégique, la meilleure stratégie d'entretien lorsqu'il faut tenir compte des moyens financiers annuels limités?;
- le budget disponible est-il suffisant pour s'assurer que le réseau routier pourra sur le long terme continuer à répondre aux attentes des parties concernées?;
- quel est l'effet de la diminution du budget disponible sur la qualité du réseau routier à court et à long terme? Quel est l'investissement supplémentaire nécessaire pour répondre aux attentes plus élevées que celles prises en compte initialement, sur l'ensemble du réseau ou sur une partie de celui-ci? Par exemple, quel investissement faut-il pour améliorer l'aspect des routes et rendre le centre de la commune plus attractif pour les personnes désireuses d'y faire leurs achats?

1.4 Autres éléments du patrimoine – *Asset Management*

Un système de gestion des routes (*Pavement Management System* - PMS) se limite à la partie de la route qui est circulée par les véhicules motorisés. Il ne s'agit bien entendu que d'une seule des parties qui constituent le patrimoine routier. D'autres éléments qui appartiennent au patrimoine sont notamment les trottoirs, les pistes cyclables, la signalisation (surtout les panneaux et les marquages), l'éclairage, le mobilier urbain, les égouts, les ponts, les tunnels, les glissières de sécurité et les murs antibruit.

Tous ces éléments doivent également être entretenus et être remplacés de temps à autre, et leur gestion se fait de manière analogue. Il existe par exemple des systèmes qui se limitent uniquement à la gestion des ponts (*Bridge Management Systems* – BMS) ou à la gestion des pistes aéroportuaires (*Airport Pavement Management Systems* – APMS). Il faut néanmoins souligner que la durée de vie prévue des différents éléments peut fortement varier: de quelques années (pour la signalisation, par exemple) jusqu'à plus d'un siècle (pour les ponts et les tunnels, notamment).

En utilisant différents systèmes de gestion pour les différents éléments du patrimoine, les gestionnaires disposent de différentes listes de mesures d'entretien qui doivent être coordonnées: les travaux en surface sont de préférence réalisés en même temps que les travaux de rénovation des égouts qui se situent sous la route, les travaux réalisés à la surface d'un pont peuvent être réalisés en même temps que les travaux en surface avant et après ce pont, la rénovation d'un trottoir a souvent lieu lorsque des travaux sur la chaussée doivent être réalisés, etc.

La nécessité de pouvoir gérer ces éléments de manière intégrée, dans une grande base de données associée à une carte, se fait de plus en plus ressentir. Alors que la demande pour un système de gestion du patrimoine de ce type (*Asset Management System* - AMS) augmente, une solution globale n'est toujours pas disponible. Il existe bien des logiciels qui permettent d'enregistrer toutes sortes de données et de les gérer individuellement, avec différents degrés de complexité. Un système de gestion des routes peut être intégré en tant qu'élément d'un AMS plus large.

La tendance générale auprès des fournisseurs de PMS est d'évoluer vers le développement d'un AMS dans lequel le PMS n'est qu'un module parmi d'autres. Un logiciel AMS de ce type est souvent consti-

tué d'une base de données associée à une carte, dans laquelle chaque élément du patrimoine routier peut être enregistré, avec des informations qui s'y rapportent. De la sorte, on obtient un système dans lequel sont collectées des informations sur les chaussées, les places de stationnement, les trottoirs, les poteaux d'éclairage, le mobilier urbain, les parterres, les arbres, etc., et avec lequel il est possible de gérer les entretiens de différentes manières, et à divers degrés de complexité. L'entretien des éléments autres que les chaussées se limite parfois à établir un planning très simple, par exemple une taille périodique de la végétation (simplement sur base du temps écoulé).

Chapitre 2

Qu'est-ce qu'un système de gestion des routes?

Un système de gestion des routes a pour but d'étayer de manière objective et argumentée la gestion d'un réseau routier, tant d'un point de vue financier que technique. Il doit aider le gestionnaire lors de la prise de décisions stratégiques concernant les investissements à effectuer dans l'entretien des routes. Il s'agit également pour lui d'un outil lui permettant de communiquer sur les décisions prises et sur les effets que d'autres décisions devraient avoir sur la qualité du réseau routier.

L'approche se fait en différentes phases:

- réalisation d'une évaluation aussi objective que possible de la situation actuelle du réseau routier, à l'aide d'inspections (visuelles – de gestion de réseau);
- transposition des données d'inspection en une évaluation de qualité pour chaque élément du réseau qui devrait pouvoir être entretenu séparément;
- prévision de l'évolution de l'état de chaque élément du réseau routier évalué dans les vingt à trente années à venir;
- planification automatique des mesures d'entretien (en fonction de la stratégie choisie);
- simulation de l'investissement annuel nécessaire pour l'entretien (en fonction de la stratégie choisie);
- établissement du planning stratégique pour l'entretien prioritaire des chaussées.

Sur base de ce planning stratégique, on peut alors procéder à une analyse plus approfondie des travaux à réaliser au niveau du projet, en élargissant aux autres éléments du patrimoine et en tenant compte des travaux nécessaires à réaliser sur ces autres éléments.

2.1 Définition d'un PMS

Dans le dictionnaire en ligne de l'Association mondiale de la route AIPCR, un «système de gestion des chaussées», traduction du terme anglais *Pavement Management System*, est défini comme suit: «Ensemble de procédés et de méthodes utilisés par les décideurs dans les études de rentabilité permettant de programmer et de projeter la construction et l'entretien des réseaux routiers».

Le rapport AIPCR de 2005 donne une définition plus détaillée: «Un processus systématique d'entretien, de modernisation et d'exploitation du patrimoine, associant des principes d'ingénierie à des pratiques commerciales et à une justification économique solides, et fournissant des outils pour encourager une approche plus organisée et plus flexible de prise des décisions nécessaires pour répondre aux attentes de la population.» [1, 2].

2.2 Paramètres techniques et indicateurs

Avant de commencer une analyse, le gestionnaire de réseau doit disposer d'un inventaire de la superficie. Le réseau routier doit être divisé en «sous-sections de route», que le gestionnaire souhaite gérer et entretenir individuellement.

Ensuite, les sous-sections sont inspectées de manière technique et aussi objective que possible. Ceci permet d'obtenir pour chacune d'entre elles une liste de valeurs pour les «paramètres techniques». Un paramètre technique exprime une propriété physique de l'état dans lequel se trouve la sous-section et prend généralement la forme d'un nombre avec unité. Les paramètres techniques sont par exemple le nombre de joints transversaux qui ne sont plus suffisamment remplis sur un revêtement en dalles de béton, le nombre de mètres de route sur lesquels on observe une fissure longitudinale sur un revêtement bitumineux, etc.

Un «indicateur (performantiel) individuel» est un nombre avec ou sans dimension qui exprime une propriété technique de la sous-section. Un indicateur qui est un nombre avec dimension est plutôt dénommé «paramètre technique».

Un «indicateur (performantiel) combiné» est un nombre avec ou sans dimension qui est associé à au moins deux propriétés techniques de la sous-section de route et qui exprime une évaluation de la combinaison de ces propriétés techniques.

Un «indicateur (performantiel) général» est une combinaison d'indicateurs (performantiels) individuels et/ou combinés qui donne une évaluation globale de l'état d'une sous-section de route (et qui combine donc différents types d'évaluations dans un seul et même score).

Il va de soi qu'un paramètre technique ou qu'un indicateur performantiel individuel (sans dimension) a surtout de la valeur aux yeux des personnes possédant des connaissances techniques dans le domaine, tandis que les indicateurs (performantiels) combinés et généraux peuvent plutôt être utilisés par des spécialistes financiers pour leur planification stratégique et pour la communication vers les décideurs politiques et les usagers de la route.

2.3 Mesures d'entretien

Lors de l'analyse stratégique de la gestion à appliquer sur l'ensemble du réseau routier, il faut bien entendu évaluer la nature de l'entretien qui devra éventuellement être réalisé à court ou à long terme sur les différentes sections de route. Afin de réaliser une estimation du budget annuel nécessaire pour réaliser cet entretien, un prix doit pouvoir être associé aux différentes mesures qui doivent être prévues lors de l'analyse stratégique.

La plupart du temps, un système de gestion des routes prendra en considération plusieurs mesures d'entretien qui prévoient soit des réparations locales uniquement, soit des réparations sur les couches supérieures de la chaussée, ou bien encore des réparations au niveau des couches sous-jacentes ou leur remplacement. En outre, des mesures d'entretien différentes devront être prévues pour les différents types de revêtements. Il est aussi possible de prendre en compte les différentes variantes de mesures d'entretien similaires mais dont le prix unitaire, l'efficacité ou la durabilité varient.

Un système de gestion des routes n'a pas pour objectif d'établir un plan détaillé des travaux à réaliser pour l'année qui vient, ou de pouvoir établir un cahier des charges de manière totalement automatique. Il permet plutôt, en se basant sur des prix unitaires moyens de mesures d'entretien représentatives, de réaliser une estimation globale des moyens financiers nécessaires et d'identifier les sections de route qui doivent en priorité bénéficier d'un entretien.

Lorsque le gestionnaire procède à la préparation de l'exécution du programme des travaux pour l'année à venir, et dispose d'un budget fixé pour cette année, il parcourt la liste des sections à entretenir en priorité et établit pour chacune un plan détaillé et un cahier des charges. Généralement, les travaux sur certaines sections seront effectués à un prix qui dépasse les estimations, tandis que les mesures d'entretien appliquées sur d'autres sections pourront coûter moins cher que prévu. Lorsque les prix unitaires

moyens des mesures d'entretien typiques introduits dans le système de gestion sont réalistes, le prix des travaux réellement effectués correspond à l'estimation. Par exemple, lorsque la mesure d'entretien consiste à renouveler la couche de roulement, on peut, dans la pratique, également procéder au remplacement des bordures sur toute la longueur de la section, mais il est parfois décidé de ne renouveler les bordures qu'à certains endroits isolés. Ceci a un impact direct sur le prix des travaux. Afin d'effectuer une estimation réaliste de la mesure d'entretien «renouvellement de la couche de roulement», il faut aussi inclure dans son prix unitaire, en plus du prix par m² que représente le renouvellement de la couche de roulement, le prix moyen du renouvellement d'une partie des bordures. Il convient de noter que le terme «renouvellement de la couche de roulement» est une famille de travaux de voiries éventuels sur la couche de roulement d'une chaussée. Lorsqu'un système de gestion propose de réaliser un «renouvellement de la couche de roulement», le gestionnaire doit encore remplir les détails techniques y relatifs, et ce en fonction de la situation spécifique de la section où cet entretien doit être réalisé.

2.4 Résultats d'un PMS

Un PMS est un soutien lors de la prise de décision qui précède le développement pratique et la planification des travaux qui, d'un point de vue technique, doivent être réalisés prochainement. Cette prise de décision se fait de préférence en tenant compte de l'entretien technique qui doit avoir lieu. Une considération doit aussi être faite d'un point de vue financier: la taille de l'investissement nécessaire pour l'entretien, les différentes solutions à justifier d'un point de vue technique qui ont éventuellement une durabilité différente, les moyens financiers qui sont disponibles ou qui peuvent être libérés, les attentes qu'ont les différentes parties et le désir de répondre à ces attentes dans une certaine mesure. Les résultats d'un PMS illustrent les effets des différents choix que peut faire le gestionnaire. Ces résultats peuvent être présentés sous forme de listes simples, de graphiques et d'histogrammes, ou bien encore être présentés sur une carte.

Un PMS permet de déterminer une liste des mesures d'entretien à réaliser en priorité selon une stratégie établie, et ce pour plusieurs années successives. Lorsque le gestionnaire apporte une modification à la stratégie d'entretien, cette liste va également changer. Lorsqu'un PMS tient compte de prix unitaires pour les mesures d'entretien, une estimation pourra être faite pour les investissements annuels dans l'entretien selon la stratégie considérée. Ainsi, avec un simple histogramme, il est possible de présenter de manière concrète l'évolution de l'ampleur des investissements annuels. Généralement, un PMS prédit l'évolution de la qualité du réseau routier dans le temps, ce qui permet d'illustrer l'effet d'une stratégie d'entretien sur le long terme et d'établir une comparaison avec une autre stratégie.



Chapitre 3

Quelques exemples de PMS en action

Les systèmes de gestion des routes sont utilisés depuis longtemps déjà à travers le monde. C'est vers la fin des années soixante du vingtième siècle que l'on a pour la première fois envisagé une optimisation de l'investissement dans les travaux d'entretien au niveau de l'ensemble du réseau routier. Dans les dix années qui ont suivi, d'importants progrès ont été réalisés dans le développement des concepts qui constituent la base des systèmes qui sont utilisés aujourd'hui. Nous donnons en guise d'illustration quelques exemples de PMS qui sont utilisés dans la pratique.

3.1 Méthodologie CROW (Pays-Bas)

Dans les années septante du siècle dernier, une méthodologie a été mise au point par un groupe de travail du CROW aux Pays-Bas qui a pu compter sur un consensus national parmi les parties impliquées. La première version de la méthodologie a été publiée dans les années quatre-vingt. Celle-ci a depuis lors été utilisée par de nombreuses personnes, et il y a quelques années, a été quelque peu modifiée et actualisée sur base des longues années d'expérience. Aujourd'hui, la méthodologie du CROW est utilisée par pratiquement toutes les communes des Pays-Bas. Les provinces et les administrations des eaux des Pays-Bas emploient aussi cette méthodologie pour la gestion de leurs réseaux. Il existe également un «groupe d'utilisateurs gestion des routes» qui a pour objectif de suivre et d'évaluer en continu le système d'inspection visuelle et de gestion des routes.

Plusieurs logiciels implémentent la méthodologie CROW de gestion des routes. Tous les deux ans, le CROW contrôle si leur méthodologie de gestion des routes est appliquée correctement dans les logiciels des divers éditeurs. Le cas échéant, l'éditeur reçoit un label de qualité. Les utilisateurs du logiciel sont ainsi assurés que le système de gestion qu'ils emploient applique correctement la méthodologie CROW.

Des formations sont régulièrement organisées pour les futurs inspecteurs, qui peuvent ensuite participer à un examen théorique et à un examen pratique. Il y a également un cours de base sur le système de gestion des routes et l'utilisation des logiciels.

3.1.1 Inspection visuelle

La méthodologie CROW se base exclusivement sur l'inspection visuelle. L'inspection visuelle globale CROW a pour objectif d'obtenir rapidement et efficacement une vision de la condition actuelle du réseau routier. La publication CROW «Handleiding globale visuele inspectie 2011» [3] décrit une méthode d'inspection visuelle globale.

L'inspection visuelle globale CROW se limite à un petit nombre de dégradations: plumage, défauts d'uni transversal, inégalités, fissuration et dégradation des bords sur les routes en béton bitumineux, défauts d'uni transversal, inégalités et largeur des joints sur les revêtements modulaires, inégalités, fissuration et jointolement sur les routes en béton de ciment. Le tassement peut aussi être pris en compte par l'inspecteur lors de son évaluation.

L'inspecteur doit évaluer les dégradations qui sont visibles à la surface de la route. Pour ce faire, il doit indiquer la gravité et l'ampleur de celles-ci sur la section de route.

La gravité de la dégradation doit être exprimée par les termes «léger», «modéré» ou «grave». Pour chaque dégradation, une définition précise des trois niveaux de gravité est donnée. L'ampleur doit être décrite avec «1» lorsqu'elle est restreinte, «2» lorsqu'elle est moyenne et «3» lorsqu'elle est importante. Ici aussi, des définitions précises sont données pour chaque type de dégradations. La dégradation doit avoir une certaine ampleur minimale avant d'être enregistrée.

Généralement, l'inspection visuelle globale est effectuée tous les ans ou tous les deux ans.

3.1.2 PMS utilisé par les villes, les communes et les provinces

Les résultats de l'inspection visuelle globale CROW sont le point de départ pour établir un plan d'entretien sur plusieurs années. La méthode décrit le moment auquel chaque mesure doit être appliquée. Ceci permet d'établir un planning de base des mesures d'entretien futures et une estimation du budget y associé.

Outre les résultats de l'inspection visuelle, on tient également compte lors de l'établissement du planning de base de l'année de construction des sous-sections. Les routes sont subdivisées en différents types (route fortement chargée, route moyennement chargée, route légèrement chargée, route de zone résidentielle, etc.).

Les sous-sections de route sont réparties en cinq catégories, reprises au tableau 1. Cette répartition est faite sur base de la combinaison gravité-ampleur de la dégradation. L'objectif est de faire en sorte que l'état d'entretien des revêtements soit «suffisant», «bon» ou «très bon» et le reste, et de n'en laisser aucun dans un état «modéré» ou «mauvais».

Niveau	Méthodologie CROW
A+ (très bon)	Aucune dégradation
A (bon)	Légère dégradation
B (suffisant)	Le seuil d'avertissement est dépassé
C (modéré)	La directive est dépassée
D (mauvais)	La directive est dépassée dans plusieurs classes

Tableau 1 – Cinq niveaux de qualité pour les sous-sections de route après l'inspection globale CROW

La combinaison gravité-ampleur est en relation directe avec la période ou l'année où l'entretien devra être réalisé. La méthodologie CROW a défini une «directive» – un seuil pour la combinaison gravité-ampleur. Dès que cette directive est dépassée, un entretien doit avoir lieu la première ou la deuxième année du plan d'entretien. Lors de l'application des directives, outre les dégradations individuelles, on tient également compte des combinaisons de dégradations. Il est possible que les dégradations ne dépassent pas les directives individuellement, mais que cela soit le cas lorsqu'elles sont combinées.

En ce qui concerne les sous-sections de route qui se situent au-dessus le seuil d'avertissement, aucune mesure d'entretien n'est prévue dans les cinq années qui suivent. Pour les sous-sections qui ont dépassé le seuil d'avertissement mais qui n'ont pas encore atteint la directive, le plan d'entretien est prévu dans une période de trois à cinq ans, sur base de modèles comportementaux et de seuils d'avertisse-

ment. Lorsque les sous-sections dépassent la directive, l'entretien est prévu dans les deux ans, voire dans l'année pour les sous-sections en mauvais état. Le planning de base est entièrement établi grâce à une évaluation technique de l'état du réseau routier au moment de l'inspection. En cas de retard dans l'entretien, reporter celui-ci est inacceptable.

La méthodologie CROW ne permet pas de prévoir au-delà de cinq ans, car ces résultats sont trop étalés. Celle-ci donne toujours un signal lorsque de l'entretien est nécessaire sur des sous-sections de moins de trois ans. Ces dégradations ne sont pas dues à l'âge et nécessitent donc une évaluation plus poussée.

Le système de gestion des routes CROW reconnaît trois niveaux de qualité d'entretien (voir tableau 1): entretien «extensif» (la sous-section doit au moins atteindre le niveau B), entretien «normal» (la sous-section doit au moins atteindre le niveau A) et entretien «intensif» (la sous-section doit au moins atteindre le niveau A+). Le niveau d'entretien «extensif» est la qualité technique minimale que doit avoir l'ensemble des revêtements afin que les routes soient gérées de manière sûre et responsable. Avec un objectif de qualité en-deça de ce niveau, le capital se détériore et le gestionnaire doit prendre des mesures toujours plus onéreuses pour ramener les routes à un niveau de qualité sûr. Dans un même réseau routier, le gestionnaire peut choisir de fixer des niveaux de qualité plus élevés sur certaines sous-sections plutôt que d'autres. Des calculs différents peuvent donc être faits, où l'on choisit d'exiger d'autres niveaux de qualité d'entretien. Ceci permet de simuler les effets à long terme des différents niveaux d'attente en termes de qualité et d'aspect de la surface de la route. Exiger une qualité moindre a pour effet de retarder l'entretien, ce qui peut à long terme nécessiter des investissements plus importants quand on souhaite rehausser le niveau de qualité.

Après avoir déterminé le moment auquel une mesure d'entretien doit être appliquée, la méthodologie CROW propose une méthode pour choisir la mesure d'entretien la plus adéquate. Le choix du groupe de mesures est déterminé sur base des dégradations observées, et dans celui-ci, on choisit ensuite la mesure qui a été définie pour le type de route donné.

On établit quelles sont les dégradations déterminantes pour quel plan annuel et avec quelles mesures les dégradations d'une sous-section de route peuvent être traitées. La méthodologie CROW contient des tables relationnelles entre les dégradations et les groupes de mesures. Les groupes de mesures sont eux-mêmes organisés selon une hiérarchie. Celle-ci intervient au moment où est généré un planning budgétaire et qu'il s'avère que l'entretien à réaliser dépasse le budget disponible. Dans ce cas, le système doit établir des choix concernant l'entretien à postposer sur base des priorités établies par l'utilisateur. En postposant l'entretien, il se peut que la mesure d'entretien nécessaire devienne plus lourde, car on choisit un autre groupe de mesures (plus lourdes) sur base de la hiérarchie mentionnée ci-avant.

Pour estimer le budget des travaux routiers programmés dans les années à venir, la méthodologie CROW se base sur les prix unitaires des travaux d'entretien. Le gestionnaire routier peut introduire lui-même ces prix. Généralement, ces prix comprennent aussi les mesures visant la circulation et les frais d'entrepreneur (frais d'exécution, frais d'exploitation généraux, bénéfiques et risques). Le gestionnaire routier peut également choisir d'inclure aussi la TVA, les préparatifs, les démarches administratives et les contrôles dans les prix unitaires.

Une matrice de choix d'entretien est appliquée sur base de ce planning de base. Cette matrice a pour objectif de contrôler les mesures et les années prévues dans le planning de base et de les corriger si nécessaire. Lors de l'établissement de ce planning de base, on part uniquement de l'état visible de la surface de la route et on formule une proposition pour améliorer l'état de la couche supérieure du revêtement. La matrice de choix d'entretien prend également en considération la structure du revêtement et la portance du support. Elle ne s'applique qu'à l'entretien prévu les deux premières années.

Les mesures planifiées peuvent être étalées, afin d'éviter des pics et des creux trop importants dans le budget. Il est donc possible de postposer quelque peu l'exécution des mesures prévues.

Des stratégies de gestion sont utilisées pour la projection dans le futur, pour la période qui suit les cinq premières années. Ces stratégies dépendent de trois facteurs: le type de route, le type de revêtement et le support. La méthodologie CROW distingue sept types de routes, trois types de revêtements et quatre qualités de supports. Pour chaque combinaison, le CROW donne une stratégie basée sur des mesures d'entretien planifiées de manière cyclique. Pour chaque sous-section de route, un entretien sur une longue période (donc aussi pour toute la durée de vie théorique de la route) est ainsi planifié et budgétisé.

3.2 Approche de l'AWV pour les autoroutes (Flandre)

L'*Agentschap Wegen en Verkeer* (AWV) collecte annuellement une importante quantité de données relatives à l'ensemble du réseau routier principal flamand. Ces données constituent une mine d'informations qui peuvent être utilisées dans un PMS. En 2011, l'AWV a adapté un logiciel PMS configurable au réseau autoroutier flamand [4]. Ce réseau est constitué d'environ 950 km d'autoroutes et de routes périphériques. L'approche se fait selon cinq étapes: inventaire, échantillonnage de l'état, prévisions à l'aide de modèles d'évolution, simulation de stratégies d'entretien et optimisation pour différents scénarios budgétaires (*Life Cycle Cost Analysis - LCCA*).

La structure des autoroutes flamandes varie peu: il existe cinq structures typiques, qui diffèrent entre elles au niveau de l'épaisseur des couches et de l'âge. La charge du trafic est également assez bien connue: des comptages du nombre de véhicules utilisant les autoroutes sont effectués sur l'ensemble du réseau et servent à faire une estimation du nombre de poids lourds. La structure et la charge du trafic constituent les données de base de l'inventaire.

L'état des autoroutes est déterminé par le biais de mesures de rugosité, de fissuration et de défauts d'uni longitudinal et transversal.

3.2.1 Appareils de mesure et indicateurs

Les données qui constituent la base du logiciel PMS sont collectées à l'aide d'un véhicule multifonctionnel (ARAN – *Automatic Road Analyzer*) et d'un dispositif de mesure de la rugosité (SCRIM ou SKM).

Le véhicule multifonctionnel peut mesurer à la fois les défauts d'uni longitudinal, les défauts d'uni transversal et la fissuration. Les paramètres techniques relatifs à l'uni longitudinal sont les coefficients de planéité CP_B avec une longueur de base B égale à 2,5 m, 10 m et 40 m. Des défauts d'uni transversal, on emploie comme paramètre technique la profondeur d'ornière moyenne PO (en mm) sur une distance de 1 hm. Le pourcentage de surface présentant de la fissuration est le paramètre technique IV pour l'inspection visuelle. Le dispositif de mesure de la rugosité a pour paramètre technique le coefficient de frottement transversal CFT .



© AWV

Figure 1 – Le véhicule de mesure ARAN de l'AWV



© AWV

Figure 2 – Le véhicule SKM de l'AWV

Le réseau routier a été subdivisé en sections de routes homogènes. Les premiers critères employés pour cette subdivision sont la structure de la route et la charge du trafic. L'état de la route mesuré constitue toutefois un critère supplémentaire pour subdiviser à nouveau une section de grande taille, mais uniquement sur base de l'orniérage et de la fissuration. On évalue pour chaque section quand une mesure d'entretien devra avoir lieu.

Le logiciel PMS réalise des calculs avec des indicateurs dont les valeurs sont calculées à partir des résultats de mesure. Les paramètres techniques sont tout d'abord transposés en indicateurs individuels sur une échelle allant de 0 à 100, en appliquant des fonctions de transfert:

$$I_{CP_B} = 100 - A \cdot CP_B$$

$A = 0,8$ pour coefficient de planéité de base $B = 2,5$ m.

$A = 0,4$ pour coefficient de planéité de base $B = 10$ m.

$A = 0,2$ pour coefficient de planéité de base $B = 40$ m.

$$I_{PO} = 100 - 3,75 \cdot PO$$

$$I_{IV} = 100 - 60 \cdot \sqrt{\frac{IV}{Z}}$$

$Z = 20$ pour les revêtements bitumineux.

$Z = 12$ pour les revêtements en béton.

$Z = 24$ pour les revêtements composites.

$$I_{CFT} = (100 \cdot CFT - 32) \cdot 5$$

Les trois indicateurs pour les défauts d'uni longitudinal sont utilisés dans la définition de l'indicateur combiné I_{CP} pour les défauts d'uni longitudinal. L'indicateur combiné pour l'uni est égal au minimum des valeurs des indicateurs individuels qui ont été calculées avec les coefficients de planéité de base 2,5 m, 10 m et 40 m:

$$I_{CP} = \min(I_{CP_{2,5m}}, I_{CP_{10m}}, I_{CP_{40m}})$$

Avec les indicateurs ainsi définis, on calcule ensuite un indicateur global IG , selon une formule inspirée des formules présentées dans le rapport final de l'action COST 354:

$$IG = \min(I_{CFT}, I_{PO}, I_{CP}, I_{IV}) - p \cdot (100 - I_{3,moy})$$

L'indicateur global est égal à la valeur la plus petite des quatre indicateurs différents, à laquelle est soustraite une valeur pondérée (de poids $p = 0,10$), qui est fonction de la moyenne des trois autres indicateurs. Ces formules permettent de calculer, pour chaque section de route, des valeurs par hectomètre, pour tous les indicateurs.

3.2.2 PMS avec modèle sur mesure

Sur base des données de mesure collectées au fil des ans, des modèles d'évolution ont été établis pour les six indicateurs individuels. Les valeurs des différents paramètres techniques ont été confrontées à une estimation du trafic lourd, exprimé en nombre de charges d'essieux standard de 100 kN, ayant utilisé les sections de route testées depuis leur construction. L'âge d'une section testée, exprimé en années, a été transposé en nombre de charges d'essieux standard de 100 kN en tenant compte du nombre quotidien de véhicules empruntant la section et du pourcentage de véhicules lourds.

Dans ce calcul, l'âge d'une route n'est cependant pas univoque. Chaque section de route a un historique d'entretien qui lui est propre, ce qui fait que les différentes couches de la chaussée ont été mises en œuvre à différents moments. Quatre âges ont été définis: l'âge moyen L_1 de la couche de roulement, l'âge moyen L_{12} des 12 cm supérieurs de la chaussée, l'âge moyen L_{20} du revêtement (celui-ci a généralement une épaisseur de 20 cm) et l'âge moyen L_{50} de l'ensemble de la construction (constituée du revêtement routier et de la fondation; cela représente généralement une épaisseur d'environ 50 cm).

De plus, toutes les couches de la chaussée ne sont pas pertinentes en ce qui concerne l'évolution des caractéristiques de surface dans le temps. Pour la rugosité, seul l'âge de la couche de roulement importe, pour le coefficient de planéité longitudinale de base $B = 40$ m, seul compte l'âge de la structure complète... Le type de revêtement joue également un rôle: l'orniérage n'intervient pas pour les revêtements en béton en ce qui concerne la fissuration, on prend en compte L_{12} pour les revêtements composites, tandis que l'on utilisera L_{50} pour les revêtements bitumineux et en béton.

En confrontant, pour un grand nombre de sections de routes, les indicateurs calculés à partir des résultats de mesure au nombre d'essieux standard de 100 kN supportés par la section concernée, il est possible d'établir une courbe qui correspond assez bien aux données collectées. Cette courbe est le modèle d'évolution de l'indicateur. Pour tous les détails relatifs à l'établissement des modèles d'évolution, nous renvoyons à la contribution «Briessinck, M., Van Troyen, D., *Evolutiemodellen en indicatoren voor het Vlaams PMS*» [5] du Congrès belge de la route de 2013.

Pour chaque indicateur, un «seuil d'entretien» et un «seuil d'intervention» ont été choisis. Le seuil d'entretien constitue la limite entre un état qui peut être qualifié de «bon» et un état «suffisant». On peut donc procéder dans ce cas à un entretien préventif. Le seuil d'intervention constitue la limite entre un état pouvant être considéré comme «suffisant» et un état «mauvais». Il faut ici procéder à un entretien curatif. De cette manière, chaque indicateur attribue une évaluation d'état («bon», «suffisant» ou «mauvais») à chaque section de route.

Une liste des mesures d'entretien usuelles et des prix unitaires y associés a été dressée. Une matrice a ensuite été établie, qui indique pour chaque combinaison d'évaluations d'état une ou plusieurs mesures d'entretien technique adéquates.

On prévoit également quel sera l'effet de l'exécution d'une mesure d'entretien, exprimé en tant qu'amélioration attendue des valeurs des différents indicateurs individuels.

Différentes stratégies avec des mesures d'entretien successives sont appliquées sur le réseau routier. Associer les investissements à l'effet prévu permet de réaliser des analyses coûts-bénéfices, qui contribue à établir une stratégie optimale. Le logiciel permet de calculer un budget annuel limité, constant ou non dans le temps, et de fixer un minimum de qualité requis. Ce «minimum de qualité requis» correspond à la plus petite valeur autorisée de l'indicateur global IG. Ceci résulte en un programme d'entretien pour les chaussées du réseau routier.

Ce programme d'entretien est ensuite comparé à et accordé avec le planning de l'entretien des ponts et des tunnels, des systèmes de drainage et d'agouttage, des équipements électromécaniques, des bermes et des talus, de la signalisation, etc.

3.3 Gestion des routes dans l'Etat du Michigan (Etats-Unis)

L'Etat du Michigan aux Etats-Unis a établi une méthode uniforme et a enjoint les gestionnaires routiers locaux à l'adopter. L'Etat a pour cela mis sur pied un organisme baptisé *Transportation Asset Management Council* (TAMC), qui dispose aussi des moyens financiers nécessaires.

La méthode que promeut le TAMC est basée sur une inspection visuelle selon le système PASER (voir § 3.3.1). Lorsqu'un gestionnaire routier suit une formation et inspecte ensuite des routes, dont des routes fédérales, il peut se faire partiellement indemniser par le TAMC. La formation consiste en une session annuelle d'une journée sur le terrain. Celui qui n'a pas suivi de session l'année auparavant doit en outre suivre un «webinar».

Les pouvoirs locaux peuvent utiliser leurs propres données pour gérer les routes qui se situent sous leur responsabilité. Les résultats des inspections locales sont néanmoins aussi centralisée. Cette centralisation se fait via le logiciel *Roadsoft*, que le TAMC met à disposition des pouvoirs locaux. Ce logiciel leur donne accès à une subdivision prédéfinie en sous-sections de routes. Les résultats des inspections réalisées localement sont introduites et exploitées, pour être ensuite envoyées au TAMC.

Le TAMC va plus loin que le PMS et encourage aussi la gestion d'autres parties du patrimoine, dont les ponts (BMS), et la gestion intégrée (AMS).

3.3.1 Inspection visuelle: PASER

L'acronyme PASER signifie *Pavement Surface Evaluation and Rating system*. Lors d'une inspection visuelle réalisée selon ce système, un score PASER est attribué à chaque sous-section de route. Ceux-ci constituent une méthode d'évaluation simplifiée, adaptée à la gestion des réseaux. Le score est un nombre sur une échelle de 1 (état très mauvais) à 10 (état parfait). Il y a un lien entre l'état dans lequel se trouve la surface et l'intensité de la mesure d'entretien appliquée. L'inspecteur doit attribuer à chaque sous-section inspectée un des dix scores possibles.

Il existe des guides pour l'inspection des revêtements bitumineux, des revêtements modulaires, des revêtements en dalles de béton et des routes non revêtues. Les dégradations y sont définies. Ils contiennent aussi de nombreuses photos qui illustrent la gravité des dégradations. De même, un tableau donne la correspondance entre le score, les types de dégradations et la mesure d'entretien appropriée. Ensuite, une description est faite de l'état d'une sous-section pour chaque score, à l'aide de photos et d'exemples.

Un inspecteur se doit de penser en trois étapes avant d'attribuer un score à une sous-section de route:

1. L'état de la sous-section de route est-il, d'un point de vue général, bon, moyen ou mauvais?;
2. Quel niveau d'entretien faudrait-il appliquer sur la sous-section de route?;
3. Evaluer les différentes dégradations observables et leur gravité, afin d'attribuer un score à la sous-section de route.

Le guide des formations que le TAMC organise contient des conseils pour la réalisation des inspections. Il est par exemple stipulé qu'inspecter un revêtement humide est inefficace, et doit donc de préférence être évité. On s'intéresse à l'impact des changements de lumière et à la présence d'ombres sur les résultats de l'inspection visuelle. Des instructions sont également données pour une éventuelle subdivision d'une sous-section de route si l'inspecteur sur le terrain remarque que la subdivision prédéfinie n'est pas en phase avec la réalité (par exemple lorsqu'il y a une bande de circulation supplémentaire ou lorsqu'il y a une variation non enregistrée du type de revêtement).

3.3.2 PMS pour les routes locales de l'Etat de Michigan

La première étape de l'approche PMS du TAMC est de répartir les scores PASER des inspections visuelles en trois catégories: «bon» pour les scores 8, 9 et 10, «modéré» pour les scores 5, 6 et 7 et «mauvais» pour les scores 1, 2, 3 et 4.

Pour les sous-sections de route qui sont considérées comme «bonnes», un entretien de routine, qui a pour objectif de préserver la chaussée de l'eau, suffit: nettoyage des filets d'eau, remplissage des fissures, brossage des rues, etc.

Pour les sous-sections de route dont l'état est «modéré», un «entretien préventif» est proposé. Il s'agit d'un entretien rentable qui empêche que l'état de la route ne se dégrade et qui augmente la qualité fonctionnelle, mais pas la capacité structurelle.

Pour les sous-sections de route dites «mauvaises», une «intervention structurelle» doit être prévue, ce qui implique un renforcement ou une reconstruction.

Dès qu'on a obtenu une image générale de l'état du réseau routier, les quatre étapes suivantes sont suivies.

1. Choisir le niveau de qualité souhaité, et déterminer le budget disponible et la répartition du budget entre les mesures d'entretien préventives et les interventions structurelles

Lors de cette étape, différents scénarios sont envisagés et comparés entre eux. Chaque scénario repose sur un niveau de qualité souhaité différent, sur un budget disponible différent et/ou sur une autre répartition du budget. Les effets du choix d'un scénario donné sur l'état futur du réseau routier sont évalués. On utilise des prix unitaires pour les différentes mesures d'entretien. L'emploi d'un PMS avec des modèles d'évolution pour prévoir l'état futur des sections de route n'est pas obligatoire, mais le TAMC l'encourage et l'offre même gratuitement. Les résultats des différents scénarios peuvent être présentés par les chefs des services techniques aux décideurs politiques et éventuellement servir d'arguments pour demander une augmentation du budget disponible.

2. Identifier les projets à réaliser

Lors de cette étape, on ne sélectionne pas seulement les projets qui découlent des inspections, mais éventuellement aussi les projets que les usagers de la route souhaitent ou que les ingénieurs routiers estiment être nécessaires. Il est proposé d'évaluer si les sections de route doivent recevoir beaucoup de trafic et si la route joue un rôle important dans l'économie locale. Cette étape est également l'occasion de se pencher sur d'autres interventions, comme des travaux d'égouttage.

3. Classer les projets identifiés selon la priorité de l'intervention

Le budget disponible n'est probablement pas suffisamment important pour réaliser l'ensemble des projets, ce qui signifie qu'une sélection doit être opérée. Un planning pour les trois années à venir est établi, et sera évalué chaque année et éventuellement révisé. Pour chaque projet, une estimation a déjà été faite lors de la première étape des moyens financiers nécessaires à leur exécution. Les projets identifiés lors de la deuxième étape sont d'abord classés par ordre décroissant de priorité. Ensuite, les projets les plus prioritaires sont planifiés, jusqu'à ce que le budget ne soit plus suffisant pour financer le projet suivant sur la liste. Le reste du budget sert à financer le projet suivant qui peut l'être avec le montant restant, et ce processus est répété jusqu'à épuisement total du budget.

4. Rapporter les résultats

La législation dans l'Etat du Michigan stipule que trois rapports doivent être fournis: un rapport contenant les résultats d'inspection, un rapport avec le plan trisannuel et un rapport sur les travaux réellement effectués l'année précédente.

Le TAMC organise également une formation pour aider les gestionnaires routiers locaux lors de la réalisation de ces quatre étapes.

3.3.3 Utilisation des données d'inspection au niveau du projet

Pour développer un «entretien préventif» au niveau du projet, le TAMC a rédigé un guide qui encourage le gestionnaire routier à réaliser une analyse plus approfondie de dégradations présentes et qui décrit en détail une série de mesures d'entretien.

Pour chaque mesure d'entretien, il est indiqué sous quelles conditions et dans quel objectif celle-ci peut être appliquée. Plus spécifiquement, il est indiqué dans quel état le revêtement existant doit encore se trouver pour que la mesure puisse être appliquée correctement et avoir un effet durable. La durabilité attendue de la mesure est également indiquée.

3.3.4 Un autre indicateur: le PCI pour les routes et les aérodromes

Un autre indicateur pour l'inspection visuelle, qui est parfois employé à certains endroits au Michigan et ailleurs en Amérique, et qui est aussi appliqué sur les revêtements aéroportuaires et les parkings, est le *Pavement Condition Index* (PCI). Le PCI est un nombre compris sur une échelle allant de 0 (mauvais) à 100 (parfait), qui est déterminé selon la méthode américaine normalisée décrite dans les normes ASTM D6433 (routes et parkings) [6] et D5340 (pistes aéroportuaires) [7]. Une section de route à inspecter doit au préalable être subdivisée en sections plus petites. Ensuite, une partie (représentative) de ces petites sections est choisie au hasard. L'inspecteur sur le terrain évalue uniquement la partie présélectionnée des sections. Il est demandé aux inspecteurs de consigner la présence éventuelle et la gravité de toute une série de dégradations spécifiées dans la norme. Une fois l'inspection terminée, la valeur PCI correspondante de la section est calculée au bureau.

Une différence importante entre le score PASER et le PCI est la nature de l'inspection: le score PASER se base sur une évaluation simple de toute la surface de la section, le PCI est une inspection technique d'une partie (représentative) de la surface de la section. Une autre différence se situe au niveau des pondérations attribuées à une même dégradation. Pour autant que nous sachions, aucune comparaison approfondie des deux indicateurs n'a encore été réalisée. Nous pouvons toutefois renvoyer vers un mémoire de master rédigé par T.P. Barrette en 2011 [8], qui pose les bases d'une telle comparaison.

Le PCI est un indicateur populaire qui est utilisé dans plusieurs logiciels PMS commerciaux, et parfois aussi sur d'autres continents.

Chapitre 4

Aperçu de la systématique CRR pour les PMS

Depuis la fin des années quatre-vingt du siècle dernier, le CRR a oeuvré au développement d'une systématique propre pour la gestion des réseaux routiers communaux ou similaires [9-13]. Au fil des ans, cette systématique a quelque peu évolué pour prendre la forme qui est décrite dans le présent document. La systématique est décrite de manière succincte dans ce chapitre, mais de plus amples détails seront donnés dans les chapitres qui suivent sur différentes parties de cette systématique.

4.1 Inventaire du réseau routier

Pour bien gérer un réseau, le gestionnaire doit tout d'abord en faire l'inventaire. Cela implique que le réseau routier soit subdivisé en parties qu'il souhaite traiter séparément.

Il est préférable de commencer par subdiviser un réseau routier en zones plus petites (quartiers d'une ville, centre d'une commune avec des rues commerçantes, quartiers résidentiels séparés, etc.). Chaque rue peut ensuite être envisagée séparément, et également être subdivisée en parties plus petites, qui seront entretenues séparément. Le CRR propose de subdiviser le réseau routier en sections de 100 m au minimum et de 300 m au maximum. Les carrefours importants sont parfois réaménagés et reconstruits séparément, et doivent donc être inventoriés séparément. Lorsque le revêtement change, la mesure d'entretien doit elle aussi changer; dans ce cas, une nouvelle section, doit alors commencer, au niveau du changement de revêtement.

Une section de route peut aussi être subdivisée sur sa largeur en sous-sections ayant chacune une fonction différente (une sous-section pour la chaussée, une autre pour la piste cyclable et une autre encore pour le trottoir). La subdivision du réseau routier doit être suffisamment bien faite pour pouvoir ensuite appliquer une autre mesure d'entretien par partie de section de route. Lorsque le gestionnaire routier souhaite que le système PMS propose un planning selon lequel chaque bande de la chaussée (d'environ 3,5 m de large) puisse être entretenue à un moment différent, la chaussée doit aussi être subdivisée en différentes parties de sections de route: une sous-section par bande de circulation.

La systématique du CRR part du principe que les routes communales peuvent se répartir en trois classes ayant chacune une fonction différente: desserte, collecte et transit (pour le trafic en transit). Ces trois classes correspondent à différentes charges de trafic lourd: il y a rarement du trafic lourd sur une route de desserte, c'est plus régulièrement le cas sur une route de collecte, mais toujours de manière limitée, tandis que les routes de transit en reçoivent quant à elle beaucoup. Pour la systématique du CRR, il est important que chaque sous-section de la chaussée se voie attribuer l'une des trois classes. Une section de route doit éventuellement être subdivisée lorsque la fonction change.

4.2 Inspection visuelle

Afin de pouvoir évaluer l'état actuel des chaussées du réseau routier, la systématique du CRR propose, pour les réseaux routiers communaux ou comparables, de réaliser une inspection visuelle de la surface dans chacune des parties de section de route selon lesquelles le réseau routier a été subdivisé lors de l'inventaire. La méthode d'inspection visuelle pour la gestion des réseaux routiers qui appartient à la systématique CRR de gestion des réseaux constitue le sujet de la publication CRR *Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier* (MF 89/15) [14].

Le CRR estime que pour un système PMS destiné à un réseau routier communal, une inspection visuelle peut suffire. Dans d'autres situations, comme pour la gestion d'un réseau d'autoroutes et de routes principales régionales, des méthodes et des systèmes PMS plus avancés sont plus recommandés (par exemple l'approche de l'AWV au § 3.2).

Pour l'évaluation d'un réseau routier dans son ensemble, il est capital que celle-ci soit faite partout de manière uniforme. La répétabilité et la reproductibilité de l'inspection doivent être garanties. Une inspection visuelle, c'est-à-dire une évaluation effectuée par un inspecteur humain, implique toujours un risque de subjectivité. La méthode de mesure qui est décrite dans la publication CRR MF 89/15 [14], est conçue de manière à ce que, si elle est correctement suivie, elle soit suffisamment répétable et reproductible pour pouvoir être appliquée lors d'une analyse à l'échelle du réseau. L'inspection visuelle selon la publication CRR MF 89/15 [14] est axée gestion de réseau. Par conséquent, on n'attend pas de l'inspecteur qu'il évalue lui-même la gravité ou la cause des dégradations présentes en surface.

A partir de l'inspection d'une sous-section de route, on calcule pour chaque dégradation le pourcentage de la sous-section de route atteint par celle-ci. Ces pourcentages sont ensuite multipliés par une pondération attribuée par le CRR à la dégradation concernée. On calcule ainsi l'«indice visuel»: un nombre compris entre 0,9 (surface sans dégradation) et 0 (surface en très mauvais état).

4.3 Indicateur: l'indice global

Les pourcentages de la surface de la sous-section de route touchés par certaines dégradations sont des paramètres techniques à partir desquels une valeur d'«indice visuel» est calculée pour chaque sous-section de route. L'indice visuel est un indicateur technique sans unité. L'indice visuel est aussi utilisé pour calculer un «indice structurel»¹, à l'aide d'une formule simple. L'«indice structurel» est un deuxième indicateur technique sans unité, dont la valeur se situe entre 0 («mauvais») et 0,9 («excellent»). L'«indice global» d'une sous-section de route est défini comme étant la moyenne de l'indice «visuel» et «structurel» et affiche donc également une valeur comprise entre 0 («mauvais») et 0,9 («excellent»). L'«indice global» est un indicateur combiné, qui donne une image globale de l'état de la sous-section de route.

Le CRR propose d'utiliser l'«indice global» pour l'évaluation du réseau routier. Cet indice permet en premier lieu de classer les sous-sections de route selon l'appréciation de l'état dans lequel elles se trouvent (de «quasiment neuf» à «dans un état lamentable»).

¹ Par le passé, l'«indice structurel» était établi sur base du coefficient de planéité de base 2,5 m mesuré avec l'APL (Analyseur de profil en long). Il s'est néanmoins avéré que, pour les routes correctement dimensionnées par rapport à la charge de trafic qu'elles doivent supporter, il existait une bonne corrélation entre l'«indice visuel» et l'«indice structurel» calculé suite aux mesures réalisées avec l'APL. Etant donné que l'expérience du CRR lui a appris que la plupart des routes communales étaient assez bien dimensionnées, il a été décidé de ne plus établir d'«indice structurel» à partir de mesures à l'APL.

4.4 Prévision de l'évolution de l'indice global dans le temps

Le CRR a développé des modèles d'évolution pour l'«indice visuel» et pour l'«indice structurel», qui dépendent du type de revêtement (bitumineux, en béton ou modulaire), de la fonction (desserte, collecte, transit) de la route et de la croissance annuelle du trafic. En les combinant, on obtient directement des modèles d'évolution pour l'«indice global».

Ces modèles d'évolution ont été établis de manière empirique, sur base des données qui ont été collectées dans trois communes pilotes. L'étude de ces données a mis en avant le fait qu'un modèle linéaire était une bonne forme pour les modèles d'évolution. Les paramètres des modèles d'évolution proviennent également des données des communes pilotes. On a ensuite étudié si les modèles d'évolution établis étaient réalistes d'un point de vue théorique et scientifique. Il est apparu que les modèles d'évolution prédisaient la durée de vie théorique d'une structure routière bien dimensionnée.

Il est possible d'argumenter qu'un modèle linéaire ne reflète pas correctement l'évolution d'une structure routière, étant donné que l'usure d'une route neuve évoluera lentement les premières années suivant sa construction, et qu'une route en très mauvais état ne pourra pas s'user beaucoup plus. Nous ne pouvons toutefois pas nier que la plupart des routes d'une commune ont plusieurs années et que les routes qui se trouvent en très mauvais état recevront un indice visuel de 0, car un pourcentage trop important de leur surface présente toutes sortes de dégradations visuellement observables. Les modèles d'évolution que nous utilisons dans la systématique du CRR s correspondent à la partie «la plus au milieu» d'éventuels modèles d'évolution plus précis, et cette partie se comporte bien de manière linéaire.

Avec ces modèles d'évolution, la systématique du CRR prévoit la manière dont les indices visuels, structurels et globaux qui ont été calculés à partir des dégradations visuellement observables de la surface de la route évolueront dans le temps. Il est donc possible de prévoir, d'un point de vue purement technique, ce qui se produira sur le réseau routier les vingt à trente prochaines années.

Il s'agit bien entendu d'un comportement «moyen», et cette prévision n'est pas vraiment précise à long terme pour les sous-sections individuelles. Cette prévision donne une tendance générale sur l'ensemble du réseau routier et permet d'établir des priorités pour les sous-sections individuelles pour les quelques années à venir.

4.5 Trois types de mesures d'entretien

La systématique du CRR répartit les mesures d'entretien possibles pour une chaussée en trois groupes: réparations locales, réparations générales et renforcement. Les réparations locales sont des réparations du revêtement de petite ampleur. Les réparations générales sont des mesures qui ne concernent que les couches supérieures d'une structure routière, mais sur toute la surface d'une sous-section de route. Les mesures de renforcement visent une amélioration de la portance de la structure routière; elles peuvent donc aussi inclure des interventions au niveau de la fondation, ou bien envisager le remplacement total d'une structure routière.

Il va de soi que les réparations locales représentent un investissement bien moindre que les réparations générales. Ces dernières requièrent à leur tour un investissement moins important que pour un renforcement.

4.6 Entretien lorsque les valeurs-seuils sont atteintes pour l'indice global

Sur base de l'indice global, la systématique du CRR classe les sous-sections de route en quatre catégories. La première catégorie regroupe les sous-sections de route dont l'indice global est compris entre 0,9 et 0,8. Ces sous-sections sont en excellent état et ne nécessitent aucun entretien, si ce n'est un entretien de routine (brosser les caniveaux, entretenir les avaloirs, tondre l'herbe, etc.). La deuxième catégorie est constituée de sous-sections dont l'indice global est compris entre 0,8 et 0,5. Ces sous-sections méritent que l'on investisse dans des réparations locales. Il s'agit de la mesure d'entretien la plus justifiable économiquement parlant pour ces sous-sections. La troisième catégorie recouvre les sous-sections dont l'indice global se situe entre 0,5 et 0,3. Ces sous-sections nécessitent que l'on investisse dans des réparations générales, qui constituent la mesure d'entretien la plus justifiée économiquement parlant, car les réparations locales ne sont dans ce cas-ci plus optimales, d'un point de vue financier et technique. La quatrième catégorie comprend les sous-sections dont l'indice global se situe entre 0,3 et 0. Les réparations généralisées ne sont dans ce cas-ci plus suffisantes, et il faut procéder à un renforcement.

Comme règle générale, nous pouvons dire que le moment optimal d'un point de vue technique et financier pour appliquer une mesure est le moment où l'indice global n'a pas encore tout-à-fait atteint les valeurs-limites 0,8, 0,5 ou 0,3.

A partir de l'inspection visuelle, il est possible de calculer pour chaque sous-section de route la valeur de l'indice global valable au moment de la réalisation de l'inspection visuelle. Celui-ci permet ensuite de répartir chaque sous-section de route dans l'une des quatre catégories. Le gestionnaire routier peut par après établir quelles sont les sous-sections de route dont l'indice global est proche d'une valeur-seuil. Il peut donner une priorité d'entretien à ces sous-sections. La mesure d'entretien adéquate est du type qui correspond à la catégorie à laquelle appartient la sous-section de route: réparations locales, réparations générales ou renforcement.

Lorsque nous prévoyons avec des lois d'évolution la manière dont l'indice global va évoluer, il est possible d'établir pour chaque sous-section quelle sera la valeur de l'indice global dans les années qui viennent, et donc aussi à quel moment l'indice global va atteindre la valeur-seuil inférieure. Il est donc possible de prévoir en quelle année il sera le plus judicieux, d'un point de vue financier et technique, d'appliquer la mesure d'entretien adéquate.

Les valeurs-seuils ont été fixées par le CRR en opposant deux facteurs: la durabilité de chacun des trois types d'entretien (réparation locale, réparations générales et renforcement) dans le temps et les rapports entre les investissements nécessaires pour (faire) réaliser ces trois types d'entretien.

La réalisation d'une mesure d'entretien peut d'un côté être utile d'un point de vue technique, mais il peut d'autre part être plus efficace sur le long terme, d'un point de vue financier, de postposer quelque peu une mesure d'entretien, ou bien de ne plus réaliser certaines mesures d'entretien (plus légères) et d'opter pour d'autres mesures d'entretien (plus approfondies). Les valeurs-seuils de 0,8, 0,5 et 0,3 pour l'indice global ont été établies par le CRR en utilisant un modèle économique dans lequel on suppose que le gestionnaire routier épargne au préalable de l'argent pour pouvoir investir au moment voulu dans l'entretien nécessaire.

Il a été supposé que les réparations locales ne doivent être réalisées que lorsque leur prix représente au moins 10 % du prix d'une réparation générale. Cela est le cas lorsque la valeur-seuil de 0,8 est atteinte.

Dès que des réparations locales répétées (selon le modèle économique, dans le montant annuel «à épargner») deviennent plus onéreuses qu'une réparation générale, il peut être considéré comme plus intéressant de procéder à celle-ci. Cela est le cas lorsque la valeur-seuil de 0,5 est atteinte.

Dès que des réparations générales répétées (selon le modèle économique, dans le montant annuel «à épargner») deviennent plus onéreuses qu'un renforcement, il peut être considéré comme plus intéressant de procéder à celui-ci. Cela est le cas lorsque la valeur-seuil de 0,3 est atteinte.

Les calculs effectués avec le modèle économique indiquent après combien d'années le montant «à épargner» devient «trop élevé». Une valeur-limite, exprimée en années, a donc tout d'abord été établie. Ce nombre d'années a ensuite été transposé en une valeur-limite pour l'indice global, en utilisant la loi d'évolution. Lors de ces calculs, une estimation a bien entendu dû être faite des rapports entre les prix des différents types de mesures d'entretien. Les prix par m² des différentes mesures d'entretien jouent un rôle dans cet exercice. Il est surtout important que les rapports entre les prix actuels des différents types de mesures d'entretien correspondent aux rapports qui ont été utilisés lors de l'établissement des valeurs-seuils. Des prix réalistes respectent généralement ces rapports.

Trois paramètres influencent le modèle économique: le pourcentage de croissance σ , le facteur d'escompte r et l'indice de prix i . Le modèle économique part du principe que les frais d'entretien annuels suivent une progression géométrique avec un pourcentage de croissance σ . Il est supposé que les prix des travaux d'entretien augmentent avec l'indice de prix i . Le facteur d'escompte r est un paramètre qui est utilisé pour répartir l'ensemble des frais d'entretien sur différentes années et présente la dévaluation d'une somme d'argent dans le temps. Le choix des valeurs de ces trois paramètres n'est pas sans importance, mais n'a qu'un impact limité sur les valeurs-seuils, tant que les valeurs choisies pour ces paramètres restent réalistes.

D'un point de vue technique également, les valeurs-seuils 0,8, 0,5 et 0,3 sont acceptables, car elles se présentent selon les lois d'évolution aux moments où les types de mesures d'entretien correspondants sont attendus. Nous pouvons donc déclarer que la systématique du CRR permet d'optimiser la gestion des routes selon une approche financière et technique.

4.7 Comparaison des stratégies d'entretien

La systématique du CRR propose dix-huit stratégies d'entretien différentes, qui utilisent chacune une combinaison de mesures d'entretien et de valeurs-seuils différente.

Au sein de chaque type de mesures d'entretien, il est possible dans la pratique de choisir entre plusieurs variantes, ayant chacune un prix unitaire différent. La systématique du CRR prévoit un maximum de trois variantes avec des prix unitaires différents pour les réparations générales et un maximum de trois variantes pour le renforcement (dont un remplacement complet de la structure routière («reconstruction» ou «réfection»)). Il existe également d'autres alternatives au sein de chaque type de mesures d'entretien, en fonction du revêtement (bitumineux, en béton, modulaire).

Alors que les valeurs-seuils de l'indice global indiquent quels types de mesures d'entretien sont optimaux d'un point de vue financier et technique, les stratégies permettent de planifier des combinaisons non optimales de mesures d'entretien. Le tableau 2 indique pour chaque stratégie à quelle valeur-seuil la systématique du CRR proposera quelle mesure d'entretien.

Mesures d'entretien	Stratégies																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Entretien de routine	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Réparations locales	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8 et 0,5	0,8 et 0,5	0,8 et 0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8, 0,5 et 0,3	
Réparations générales																		
Variantes (prix croissant)	Variante 1						0,5	0,5	0,5						0,5	0,5		
	Variante 2				0,5	0,5								0,5 et 0,3		0,3		
	Variante 3	0,5	0,5	0,5									0,5 et 0,3		0,3			
Renforcements																		
Variantes (prix croissant)	Variante 1			0,3		0,3				0,3		0,3						
	Variante 2		0,3			0,3		0,3			0,3							
Reconstruction		0,3		0,3			0,3											

Tableau 2 – Valeurs-seuils pour l'indice global et mesures d'entretien y associées pour différentes stratégies d'entretien (les cases vides indiquent que la mesure n'est pas appliquée dans cette stratégie)

Afin de donner une idée des différentes mesures d'entretien qui sont utilisés dans l'analyse selon la systématique du CRR, nous présentons dans le tableau 3 la liste initialement dressée par le CRR. La dénomination ou le choix précis des mesures d'entretien ne sont pas réellement importants en soi, tant que les rapports de prix entre les différents types de mesures d'entretien correspondent plus ou moins aux rapports qui ont été utilisés lors de l'établissement des valeurs-seuils pour l'indice global. Le gestionnaire routier est naturellement libre de choisir parmi les différentes variantes selon ses besoins. La liste des mesures d'entretien originellement dressée par le CRR (au cours de la dernière décennie du siècle passé) ne serait plus la même aujourd'hui.

		Revêtements bitumineux	Revêtements en béton	Revêtements modulaires
Réparations généralisées	<i>(prix croissant)</i>			
	Variante 1	Enduit monocouche	Remplacement de dalle en cas d'affaissement	Repavage complet
	Variante 2	Enduit bicouche	Remplacement de dalle en cas d'affaissement	Repavage complet
	Variante 3	enduit scellé par un MBCF	Remplacement de dalle en cas d'affaissement	Repavage complet
Renforcement	<i>(prix croissant)</i>			
	Variante 1	Recouvrement 6 cm	Recouvrement 16 cm	Reconstruction
	Variante 2	Recouvrement 12 cm	Remplacement couche de roulement	Reconstruction
	Variante 3 (reconstruction)	Reconstruction	Reconstruction	Reconstruction

Tableau 3 – Variantes des différents types de réparations dans la systématique du CRR

Lors de l'analyse d'une stratégie, il peut être supposé que les mesures d'entretien prévues dans cette stratégie seront effectivement appliquées au moment prévu. Dans cette hypothèse, on peut continuer le calcul après qu'une mesure d'entretien a été appliquée sur une sous-section de route. Une mesure d'entretien a naturellement un impact immédiat sur l'état de la sous-section de route: si une inspection visuelle devait avoir lieu immédiatement après la fin des travaux, aucune dégradation ne serait observée. C'est pourquoi l'indice visuel peut être fixé à la valeur maximale de 0,9 l'année de réalisation d'une mesure d'entretien. Si, par contre, aucun renforcement n'a eu lieu, la systématique du CRR suppose que l'indice structurel n'a pas bougé suite aux travaux d'entretien. L'indice global après les travaux sera donc la moyenne entre le nouvel indice visuel 0,9 et l'ancien indice structurel prévu. Si un renforcement a lieu, la systématique du CRR stipule alors aussi que la valeur maximale 0,9 peut être attribuée après l'exécution des travaux, ce qui fait que l'indice global sera aussi égal à 0,9.

Dès qu'une mesure d'entretien est appliquée, la loi d'évolution pour l'indice visuel devra légèrement être adaptée: habituellement, la qualité diminuera plus rapidement que dans une loi d'évolution standard. Le déroulement des lois d'évolution reste néanmoins linéaire.

Une option intégrée dans la systématique du CRR consiste à ne pas réaliser les travaux prévus à temps car les moyens disponibles sont insuffisants. Cela implique automatiquement le risque qu'une valeur-seuil soit dépassée et que les travaux qui sont quand même réalisés plus tard que prévu nécessitent

un investissement plus important et que la qualité globale du réseau routier soit entre-temps moindre. La systématique du CRR propose une optimisation technique et financière pour choisir les travaux à réaliser ou non.

4.8 Une aide lors de la prise de décisions

En confrontant l'indice global qui a été calculé suite à une inspection visuelle des différentes sous-sections de route d'un réseau routier aux valeurs-seuils de l'indice global, en établissant une prévision de l'évolution de l'indice global dans le futur et en appliquant et en comparant les dix-huit stratégies d'entretien différentes, il est possible d'obtenir un grand nombre d'informations qui peuvent étayer la prise de décision avec une vision à long terme.

4.8.1 Choix d'une stratégie d'entretien optimale d'un point de vue financier et technique

Comparer les résultats des stratégies permet de faire apparaître rapidement la stratégie qui fournira à long terme les meilleurs résultats d'un point de vue technique. Cela nécessite néanmoins une analyse indépendante de toute limitation financière. Il est possible que les moyens financiers qu'une commune ou un autre propriétaire de réseau routier peut ou souhaite libérer puissent sembler insuffisants pour réaliser une stratégie optimale. C'est pourquoi il est également intéressant de réaliser la même analyse en utilisant comme limitation la limite supérieure des moyens financiers annuels disponibles. Cela permettra de mettre en avant l'impact de la limitation des moyens financiers annuels disponibles sur les résultats des différentes stratégies. Il apparaîtra aussi peut-être que lorsque les moyens financiers sont limités, une autre stratégie peut fournir de meilleurs résultats que la stratégie qui est optimale lorsque les moyens sont illimités.

4.8.2 Impact d'un budget limité sur l'état du réseau

Une autre manière d'examiner les résultats de ces calculs est de partir de l'évolution de la répartition des sous-sections de route dans les différentes catégories définies par les valeurs-seuils de l'indice global, et de comparer cette répartition pour des calculs d'une même stratégie d'entretien mais avec des moyens financiers annuels disponibles toujours moins importants. Ceci permet de démontrer quel impact une décision d'épargner sur les investissements dans l'entretien du patrimoine routier aura sur le long terme, ou bien que le budget actuellement disponible est insuffisant pour réaliser une bonne politique à long terme.

4.8.3 Début d'un plan d'approche

Lorsque le gestionnaire a choisi l'une des dix-huit stratégies d'entretien pour un réseau routier, celle-ci fournit immédiatement une liste de mesures d'entretien pour les vingt à trente années qui viennent. Il ne s'agit naturellement que du début de l'exécution concrète de travaux et plus nous nous projetons dans le temps, plus la prévision perd en précision. Nous pouvons néanmoins déclarer que les priorités proposées pour les premières années sont réalistes. Il va de soi que le gestionnaire routier a tout intérêt à confronter le programme proposé à la réalité et d'avancer ou de postponer quelque peu certains travaux, ainsi que d'analyser si les travaux d'entretien proposés sont réellement adéquats. L'inspection visuelle, qui est à la base des calculs et qui reste toutefois légèrement subjective, n'avait pas pour but

d'établir les causes des dégradations observées et restait limitée à la sélection de dégradations établie dans la méthode CRR selon la publication CRR MF 89/15 [14].

4.9 Origine, point fort et limites de la systématique du CRR

A la fin des années quatre-vingt du siècle passé, le CRR a commencé le développement de sa propre systématique pour la gestion des réseaux routiers. Les Etats-Unis donnaient alors naissance à la première ébauche de PMS, et ce thème fut également traité par un groupe de travail de l'association mondiale de la route AIPCR. Des développements similaires se sont produits dans d'autres pays européens à cette époque, comme aux Pays-Bas (ce qui a découlé en l'apparition de la méthodologie CROW) et en France (au LCPC, l'actuel IFSTTAR). Le CRR a à l'époque estimé que sa systématique devait surtout être axée sur les réseaux routiers communaux ou comparables.

Le point fort de la systématique du CRR est l'optimisation de l'entretien selon une combinaison de critères techniques et financiers, avec une projection dans le temps d'au moins vingt à trente ans – ce qui correspond à la durée de vie théorique d'une structure routière nouvellement construite. Si les prix unitaires des différentes mesures d'entretien considérées sont réalistes, l'estimation de l'investissement annuel nécessaire pour l'entretien correspondra assez, au moins les trois à six premières années, aux investissements réels.

Une des limites de la systématique du CRR est que le programme des travaux qui découle de l'analyse reste encore assez vague. Au final, le programme des travaux ne fait que présenter une liste de priorités et qu'indiquer quelle est la meilleure stratégie pour exécuter ces travaux. La stratégie n'est elle-même qu'une indication du type de travaux d'entretien ou éventuellement de la variante (comprendre: niveau du prix) à appliquer par type de travaux d'entretien et par type de revêtement routier. En réalité, la même variante de travaux d'entretien ne pourra pas être appliquée de manière systématique sur toutes les sous-sections de route pour lesquelles le programme de travaux la prescrit. Des informations supplémentaires peuvent bien être obtenues des résultats de l'inspection visuelle, en guise d'amorce à la préparation de différents projets qui permettront de concrétiser le programme de travaux.



Chapitre 5

Inventaire d'un réseau routier

La première étape pour rationaliser la gestion d'un réseau routier consiste à inventorier tous les éléments qui doivent être gérés. La technologie actuelle permet d'associer un inventaire dans une base de données à une carte du réseau routier.

5.1 Subdivision du réseau routier

Avant de commencer une gestion (semi-)automatisée des routes, il est nécessaire de s'arrêter quelque peu sur la manière dont le réseau routier doit être entretenu.

Dans cette partie, nous décrivons comment subdiviser de manière proportionnelle un réseau en sections et en sous-sections afin d'obtenir à l'issue d'une inspection visuelle une bonne image de l'état général du réseau et de chaque section ou sous-section.

Le gestionnaire routier détermine lui-même la subdivision en sections et en sous-sections en fonction de la manière dont il souhaite gérer le réseau. Aucune longueur minimale ou maximale n'est imposée. Idéalement, les sections ou sous-sections correspondent aux zones que le gestionnaire routier souhaite gérer comme un ensemble.

La longueur des sections et des sous-sections est également importante pour éviter une perception négative de la part des usagers. En effet, les usagers peuvent percevoir comme trop contraignantes les activités d'entretien qui ont lieu sur une (trop) grande distance.

Enfin, la subdivision détermine aussi la manière dont les inspections doivent être réalisées sur le terrain. Nous renvoyons plus spécifiquement aux inspections visuelles décrites dans la publication CRR MF 89/15 [14].

5.1.1 Entités, quartiers

La subdivision du réseau routier doit correspondre à la manière dont le planning et l'entretien sont réalisés. Dans une grande ville, la gestion du réseau routier peut être subdivisée de manière géographique et des services différents peuvent alors se charger chacun de la gestion et de l'entretien d'une autre partie du réseau. Il est alors utile de pouvoir réaliser, tant pour le réseau routier dans son ensemble que pour chacune de ses parties, une étude séparée de l'entretien nécessaire, des priorités sur l'ensemble du réseau et des priorités au sein de chaque partie.

Les communes rurales sont parfois apparues suite à la fusion de communes plus petites ayant chacune un noyau villageois, connecté avec les autres par des routes de liaison. Dans ce cas-là aussi, il peut être utile de diviser le réseau routier en différentes zones: une zone pour chaque village et une subdivision géographique des parties plus champêtres de la commune en quelques zones supplémentaires.

Si certaines parties du réseau remplissent un rôle spécifique (centre avec rues commerçantes, zone industrielle, quartier d'habitation, etc.), cela peut aussi être utile lorsque ces parties constituent chacune une partie séparée du réseau au sein d'un ensemble plus important.

Si le réseau routier est hétérogène par nature, ce qui fait que l'entretien doit peut-être être planifié de différentes façons, il est conseillé de le subdiviser en parties pouvant chacune éventuellement être envisagée comme un réseau à part entière.

Un petit réseau routier n'a pas besoin d'être subdivisé en parties plus petites.

5.1.2 Par type de matériau à la surface de la route

Il va de soi que lorsque le type de matériau à la surface de la route change, les mesures d'entretien qui peuvent être appliquées changeront également. Une partie d'une route peut être gérée comme une partie indivisible car c'est ainsi qu'elle a été construite et gérée par le passé. Bien qu'il soit recommandé lors de l'inventaire du réseau routier d'enregistrer et de conserver toutes les informations disponibles de manière aussi détaillée que possible, la systématique du CRR ne distingue que trois types de matériaux différents pour la surface de la route: revêtement bitumineux (sans distinction de composition), revêtement en béton (généralement des dalles) et revêtement modulaire (de nature différente: pavés, pierre naturelle, etc.). Il est cependant utile, lorsque la composition ou la nature des matériaux change, de subdiviser la route, étant donné que ce changement est le signe d'un traitement (et d'une gestion différente) spécifique de ces deux parties de la route.

5.1.3 Selon la fonction de la route (desserte, collecte ou transit)

Étant donné que la systématique du CRR part du principe que la fonction de la route et la charge du trafic lourd correspondant (véhicules agricoles, poids lourds, bus) ont un impact sur l'espérance de vie de la route, il est important de subdiviser le réseau routier selon sa fonction d'utilisation: desserte, collecte ou transit. Une même route peut changer de fonction; ainsi, une rue ayant une fonction de desserte peut subitement commencer à former une liaison entre une zone industrielle adjacente et la route proche destinée au trafic en transit. Il est alors recommandé de subdiviser la rue en une partie ayant une fonction de desserte et une partie ayant une fonction de collecte.

5.1.4 Sections et sous-sections de route (règles pratiques de subdivision)

Déterminez la longueur précise des sections ou des sous-sections sur base des règles suivantes:

- idéalement, le réseau routier est subdivisé en sections d'une longueur moyenne de 200 m (minimum 100 m, maximum 300 m);
- l'inspection et la gestion peuvent varier en fonction du type de revêtement. De ce fait, il est préférable que les (sous-)sections soient constituées d'un seul et même matériau (béton bitumineux, béton de ciment armé ou non, revêtement modulaire). Chaque partie de route constituée d'un type de matériau différent devrait donc être considérée comme une (sous-)section distincte;
- choisissez un début et une fin stratégiques pour chaque (sous-)section. Par exemple, si un revêtement différent est utilisé dans un carrefour, considérez ce dernier comme une (sous-)section à part entière;
- tenez compte de l'effet d'une réparation sur l'ensemble de la (sous-)section;
- la charge du trafic (ou du moins la fonction de la route: desserte locale, collecte ou transit) doit rester la même sur toute la longueur de la sous-section;
- selon la fonction (chaussée, trottoir, piste cyclable, etc.), chaque section est subdivisée en sous-sections sur la largeur de la route. Si une chaussée est constituée de plusieurs bandes de circulation, chaque bande peut alors être considérée comme une sous-section.

Si les sous-sections de route ont une largeur constante, il suffit lors des inspections visuelles (telles que décrites dans la publication CRR MF 89/15 [14]) de mesurer la longueur d'une dégradation pour déduire ensuite la surface atteinte. Lors de l'inspection de sous-sections de route de forme irrégulière (comme un carrefour ou l'extrémité plus large d'un cul-de-sac), il faut dans la plupart des cas effectuer une estimation des surfaces qui sont atteintes par les différentes dégradations.



Chapitre 6

Inspection visuelle et paramètres techniques y associés

Afin d'évaluer l'état actuel de toutes les sous-sections de route des chaussées d'un réseau routier communal, il suffit dans la systématique du CRR de réaliser une inspection visuelle selon la méthode de mesure décrite dans la publication CRR MF 89/15 [14]. Pour chaque sous-section de route inspectée, on calcule les pourcentages de la surface qui sont atteints par les dégradations prises en considération. L'«indice visuel» et l'«indice global» sont ensuite calculés. Dans la terminologie PMS courante, les pourcentages sont des paramètres techniques et l'indice visuel et l'indice global sont des indicateurs qui en sont déduits.

6.1 Inspections visuelles selon la méthode de mesure du CRR

La méthode de mesure «Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier» est décrite en détail dans la publication CRR MF 89/15 [14]. Nous la résumons brièvement dans les lignes qui suivent.

L'inspection visuelle doit être envisagée comme une mesure de l'état actuel de la surface de la route. Pour qu'une mesure soit de qualité, il faut que son résultat ait une bonne répétabilité et une bonne reproductibilité.

La répétabilité de la méthode d'inspection signifie qu'un même inspecteur obtiendra lors d'une seconde inspection d'un même endroit un résultat très semblable à celui de la première inspection, dans des conditions similaires.

La reproductibilité de la méthode d'inspection signifie que les résultats sont très similaires lorsque deux inspecteurs réalisent séparément une inspection au même endroit et dans des conditions similaires.

6.1.1 Dégradations à encoder

Afin de pouvoir garantir la répétabilité et la reproductibilité de l'inspection visuelle, celle-ci est limitée dans la systématique du CRR à un nombre restreint de dégradations. Ce nombre restreint permet néanmoins d'effectuer une évaluation suffisante pour la gestion du réseau. Il n'est pas non plus demandé à l'inspecteur d'interpréter la gravité de la dégradation en présence ou bien d'en identifier la cause éventuelle. Les dégradations visuellement observables sont enregistrées à partir d'un certain degré de gravité (fixé dans la publication CRR MF 89/15 [14]).

6.1.1.1 Dégradations sur un revêtement bitumineux

Les dégradations qui sont consignées lors de l'inspection visuelle d'un revêtement bitumineux sont les suivantes:

- fissure longitudinale;
- fissure transversale;

- faïençage;
- orniérage;
- affaissement / flache;
- nid de poule / pelade;
- ouverture du joint longitudinal;
- arrachement / ressuage;
- dégradation de bord.

6.1.1.2 Dégradations sur un revêtement en béton

Les dégradations qui sont consignées lors de l'inspection visuelle d'un revêtement en béton sont les suivantes:

- fissure longitudinale;
- fissure transversale;
- fissure d'angle;
- faïençage;
- marche d'escalier;
- affaissement / basculement;
- absence de matériau (nid de poule, écaillage, arrachement);
- ouverture du joint transversal;
- ouverture du joint longitudinal;
- dégradation de bord.

6.1.1.3 Dégradations sur un revêtement modulaire

Les dégradations qui sont consignées lors de l'inspection visuelle d'un revêtement modulaire sont les suivantes:

- affaissement / flache;
- orniérage;
- dégradation de bord;
- éléments cassés;
- éléments déboîtés;
- éléments manquants.

6.1.2 Inspection par moitié de sous-section de route

Il est demandé à l'inspecteur d'évaluer chaque sous-section de route séparément. Une sous-section n'est généralement pas plus large que 3,5 m, ce qui correspond à la largeur d'une bande de circulation. L'inspecteur divise la sous-section de route mentalement en deux moitiés: la moitié de gauche (une zone autour de la frayée de gauche de la bande de circulation) et la moitié de droite (une zone autour de la frayée de droite).

Lorsqu'une dégradation est présente dans l'une des deux moitiés, l'inspecteur la consigne. Si une même dégradation se présente plusieurs fois sur une même moitié au même endroit, elle n'est consignée qu'une seule fois. Si une même dégradation se présente sur les deux moitiés, celle-ci est consignée aussi

bien pour la moitié de gauche que de droite. Si deux dégradations différentes se présentent sur une même moitié au même endroit, celles-ci sont toutes les deux consignées pour cette moitié.

Lorsqu'une dégradation est enregistrée, la longueur sur laquelle elle se présente (dans cette moitié) est également notée. Les dégradations ponctuelles (comme un nid de poule) comptent pour 1 m de long. L'idée sous-jacente est qu'une mesure d'entretien peut consister en la réalisation d'une réparation sur une des deux moitiés de la bande de circulation et qu'une réparation de dégradation ponctuelle couvrira dans tous les cas une surface de 1 m de long sur la largeur de la bande.

6.1.3 Pourcentage de la surface atteint par une dégradation

Pour chacune des dégradations observées, le pourcentage de surface de la sous-section de route inspectée atteint est calculé. Etant donné que nous partons du principe que la largeur d'une sous-section (et donc aussi la largeur d'une moitié de sous-section) est constante, la longueur sur laquelle la dégradation se produit est suffisante pour calculer la surface atteinte, à l'aide de la formule suivante:

$$P_{dis} = \frac{1}{2.L} \sum_i l_i^{(dis)} . 100 \%$$

P_{dis} = pourcentage de la surface de la sous-section de route atteint par une dégradation *dis*.

L = longueur totale de la sous-section de route.

$l_i^{(dis)}$ = longueur sur laquelle la dégradation *dis* a été observée lors de son *i*-ème observation.

Le «2» de cette formule est présent car nous tenons compte des longueurs observées $l_i^{(dis)}$ des deux moitiés lors du calcul de P_{dis} . Lorsque la largeur W de la sous-section est constante, la surface totale est alors égale à $L.W$, tandis que la surface touchée par une dégradation *dis* sur une longueur $l_i^{(dis)}$ est égale à $l_i^{(dis)} \cdot \frac{W}{2}$.

Si, lors de l'inspection visuelle, il est constaté que la largeur d'une sous-section de route n'est pas constante (un carrefour, une zone à la fin d'une rue en cul-de-sac, etc.) et que de petites surfaces dégradées sont immédiatement observées, la formule est alors:

$$P_{dis} = \frac{1}{S} \sum_i S_i^{(dis)} . 100 \%$$

où P_{dis} est le pourcentage de surface de la sous-section de route atteint par la dégradation *dis*, S est égal à la surface totale de la sous-section de route et $S_i^{(dis)}$ est la petite surface sur laquelle la dégradation *dis* a été observée lors de son *i*-ème observation.

6.2 Outils lors des inspections visuelles (liste énonciative)

La méthode d'inspection qui est décrite dans la publication CRR MF 89/15 [14] ne dépend pas des outils que l'inspecteur peut éventuellement utiliser lors des inspections. Nous donnons dans les lignes qui suivent un bref relevé des outils qui ont été appliqués avec succès lors d'une inspection visuelle dans le cadre d'une gestion de réseau, selon la description de la publication CRR MF 89/15 [14].

6.2.1 A pied avec une feuille de papier

La publication CRR MF 89/15 [14] contient un exemple de schéma qui peut être imprimé sur une feuille de papier au format A3 et emportée sur le terrain par l'inspecteur. A l'aide d'une roue de mesure, l'inspecteur peut alors réaliser une inspection de manière très simple. Les annotations doivent ensuite être traitées au bureau, afin de calculer les pourcentages de surfaces présentant des dégradations. Il s'agit d'une méthode simple mais fastidieuse, qui est surtout utile pour une formation ou pour harmoniser les interprétations faites par différents inspecteurs des dégradations observées.

6.2.2 A pied avec une tablette

Une variante plus efficace de l'inspection précitée est l'inspection à pied en utilisant une tablette et une application spécialement conçue à cet effet.

Il existe différents exemples d'applications de ce type, qui sont associées à un système GPS ou GPS/INS qui enregistre la localisation des dégradations.

Il existe aussi des applications qui n'enregistrent pas automatiquement la localisation des dégradations par GPS, mais qui emploient une carte et une base de données dans lesquelles les pourcentages de surfaces dégradées sont immédiatement dessinés ou introduits.

6.2.3 Le système SAND du CRR

Le CRR a développé le système SAND (Système d'acquisition numérique de données) afin de réaliser des inspections visuelles à partir d'un véhicule qui roule à faible vitesse sur la bande de circulation à inspecter. SAND n'est rien d'autre qu'un clavier spécifiquement destiné à cette méthode d'inspection, et qui est relié à l'odomètre du véhicule afin de mesurer automatiquement les longueurs sur lesquelles se présentent les dégradations. Pour une dégradation ponctuelle, il suffit d'appuyer sur une touche. Dans le cas d'une dégradation continue, une touche est enfoncée au début de l'observation et est relâchée à la fin de celle-ci. Il y a des touches pour les dégradations qui sont observées respectivement dans la moitié gauche et dans la moitié droite de la sous-section de route. Les touches disponibles diffèrent également selon le type de matériau (revêtement bitumineux, revêtement en béton ou revêtement modulaire).

6.2.4 Tablette à bord du véhicule

Les applications pour tablettes qui peuvent être utilisées à pied existent aussi dans une version pouvant être utilisée par le passager d'un véhicule. Il s'agit d'outils qui ressemblent au système SAND du CRR, mais qui utilisent un GPS ou un GPS/INS au lieu de l'odomètre du véhicule.

6.2.5 L'application imajbox® du CRR

Une autre approche peut être de commencer par prendre des images de l'ensemble du réseau routier à l'aide d'un système caméra placé sur un véhicule et de réaliser ensuite l'inspection visuelle au bureau, à l'aide des images collectées. Le CRR dispose d'une caméra imajbox (de l'entreprise française imajing) et l'utilise pour prendre des images de ce type.

Il convient ici de formuler deux remarques. Tout d'abord, la qualité des images doit être suffisante pour pouvoir effectuer une inspection visuelle de bonne qualité. Ensuite, les résultats de l'inspection diffèrent légèrement de ceux d'un inspecteur qui aurait réalisé l'inspection sur le terrain, car les défauts d'un sont plus difficiles à observer sur les images et car le plumage y est également plus difficile à reconnaître.

La qualité des images peut être garantie en veillant aux points suivants:

- l'intensité lumineuse peut varier lorsque le soleil est bas;
- les inspections ne doivent avoir lieu que lorsque la surface est parfaitement sèche;
- il faut éviter les ombres qui peuvent rendre les dégradations invisibles;
- il faut exclusivement utiliser des images qui ont été prises dans le sens du trafic (donc pas d'images à 360°), car l'appréciation des dégradations diffère selon que l'on regarde dans un sens ou dans l'autre;
- l'orientation de la caméra par rapport à la surface de la route a un impact sur la visibilité des dégradations sur les images.

Tant que l'ensemble du réseau routier est inspecté de manière uniforme, les petites différences entre une inspection sur images et sur le terrain n'ont pas d'impact sur une analyse effectuée dans le cadre de la gestion du réseau. Il convient néanmoins de rester prudent lorsqu'on compare des inspections qui n'ont pas été effectuées de la même manière.

6.2.6 Prendre des photos à pied, examiner les photos

Une technique simple consiste à parcourir à pied les sous-sections de route à inspecter et à photographier la surface tous les 5 m. Il faut ici veiller à ce que l'ensemble du bloc à inspecter figure bien sur la photo. Pour établir cette longueur de 5 m, il est recommandé d'utiliser une roue de mesure. Une fois que les photos ont été prises, les images qui ont été prises de chaque sous-section peuvent être examinées calmement et en toute sécurité au bureau. Il est recommandé que la personne qui réalise cette inspection soit aussi celle qui a pris les photos.



Chapitre 7

Indicateurs

A partir de l'inspection visuelle et des paramètres techniques ensuite calculés (les pourcentages de la surface atteints par une dégradation), il est possible de calculer quelques indicateurs qui seront utilisés lors de l'analyse dans le cadre de la gestion du réseau.

7.1 Indice visuel

L'indice visuel I_v est un nombre compris entre 0,9 et 0 qui est attribué à une sous-section de route. Un indice visuel de 0,9 indique que la surface ne présente aucune dégradation, tandis qu'un indice de 0 indique la présence de nombreuses dégradations. L'indice visuel est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$I_v = \max(0,00 ; 0,90 - \sum_{dis} w_{dis} \cdot P_{dis})$$

Pour calculer l'indice I_v , les poids suivants sont utilisés dans le cas des revêtements bitumineux:

	Fissure longitudinale	Faïençage	Arrachement / ressuage	Orniérage	Affaissement / flache	Nid de poule / pelade	Fissure transversale	Dégradation de bord	Ouverture du joint longitudinal
w_{dis}	0,60	0,70	1,00	1,00	0,50	1,00	0,60	0,50	0,25

Pour calculer l'indice I_v , les poids suivants sont utilisés dans le cas des revêtements en dalles de béton:

	Fissure longitudinale	Fissure transversale	Fissure d'angle	Faïençage	Dégradation de bord	Marche d'escalier	Affaissement / flache	Absence de matériau (nid de poule, écaillage, arrachement)	Ouverture du joint transversal	Ouverture du joint longitudinal
w_{dis}	0,50	0,50	0,50	0,70	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,25

Pour calculer l'indice I_v , les poids suivants sont utilisés dans le cas des pavages (revêtements modulaires):

	Affaissement / flache	Orniérage	Dégradation de bord	Eléments cassés	Eléments déboîtés	Eléments manquants
w_{dis}	1,00	1,00	0,50	0,70	0,70	0,70

7.2 Indice structurel

L'indice structurel a été développé par le CRR à partir de mesures des variations de l'uni longitudinal et originellement établi à l'aide d'un coefficient de planéité de base 2,5 m ($CP_{2,5}$), qui a été mesuré à l'aide de l'APL (Analysateur de profil en long) sur l'ensemble du réseau routier d'une commune et qui a été rapporté par sous-section d'une longueur de 10 m.

Une fois les mesures à l'APL effectuées sur l'ensemble du réseau routier, on a calculé pour chaque sous-section de route la valeur $CP_{2,5}$ qui avait été mesurée en moyenne sur la sous-section. On a ensuite déterminé laquelle, parmi toutes ces valeurs $CP_{2,5}$ moyennes calculées, est la troisième plus petite valeur du coefficient de planéité de base 2,5 m et est notée en tant que CP_{min} . L'indice structurel ξ d'une sous-section de route a été établi avec la formule:

$$\xi = 1 - (CP_{2,5} / (10 \cdot CP_{min}))$$

$CP_{2,5}$ = la valeur moyenne des coefficients de planéité de base 2,5 m mesurés sur cette sous-section de route.

L'idée sous-jacente était que le CP_{min} est un indicateur de la planéité longitudinale optimale que devrait avoir l'ensemble du réseau routier dans des conditions idéales et que les défauts locaux de planéité sont le signe de problèmes structurels dans la chaussée.

Quelques observations intéressantes ont néanmoins été formulées. Lorsqu'on a pris en compte, parmi toutes ces valeurs $CP_{2,5}$ moyennes calculées, la troisième valeur la plus grande du coefficient de planéité de base 2,5 m et qu'on l'a consignée en tant que CP_{max} , il est apparu que la relation suivante s'appliquait pour un réseau routier de grande taille:

$$CP_{max} = 10 \cdot CP_{min}$$

Il s'est en outre avéré que pour des sous-sections de route bien dimensionnées, il existait une corrélation entre l'indice structurel ξ calculé sur base de mesures APL et l'indice visuel I_v calculé suite à l'inspection visuelle pour la gestion du réseau. Cette corrélation a pu être exprimée à l'aide de la formule suivante:

$$\xi = 1,2 \cdot I_v - 0,18$$

Celle-ci a permis de déduire que lorsque les deux indices étaient disponibles, les sous-sections de route qui présentaient une faiblesse en surface, ont pu être identifiées grâce à une relation $\xi \geq 1,2 \cdot I_v - 0,18$, tandis que les sous-sections de route qui présentaient une faiblesse structurelle ont pu l'être grâce à une relation $\xi < 1,2 \cdot I_v - 0,18$.

Cette méthode requiert toutefois une campagne complète et approfondie de mesures de la planéité longitudinale avec l'APL et le CRR sait de par son expérience qu'il s'agit d'un travail fastidieux et en plus irréalisable d'un point de vue technique. Les mesures APL doivent se faire à une vitesse constante de 21,6 km/h et l'APL est un appareil délicat qui ne peut pas rouler à cette vitesse sur des obstacles tels des ralentisseurs ou autres dispositifs surélevés. L'expérience du CRR lui a appris que sur un réseau routier communal typique d'aujourd'hui en Belgique, il n'est possible de mesurer correctement une série représentative de valeurs $CP_{2,5}$ que sur un peu plus de la moitié de l'ensemble des sous-sections de route. Bien entendu, on pourrait opter pour un autre appareil de mesure, qui détermine la planéité longitudinale à l'aide d'un système de mesure au laser. L'expérience nous a toutefois aussi appris que dans un réseau routier communal typique en Belgique, moins de 10 % des sous-sections de route présentaient une faiblesse structurelle, lorsqu'on les repère à l'aide de la relation $\xi < 1,2 \cdot I_v - 0,18$. Dans la systématique actuelle, décrite dans le présent document, nous choisissons dès lors de ne plus mesurer la planéité longitudinale sur l'ensemble du réseau routier d'une commune, mais d'utiliser la corrélation qui a été établie entre ξ et I_v afin de définir un nouvel indice structurel I_s à l'aide de la formule suivante:

$$I_s = 1,2 \cdot I_v - 0,18$$

$I_v =$ l'indice visuel qui a été calculé pour la sous-section de route à partir des données de l'inspection visuelle.

7.3 Indice global

L'indice global I_G d'une sous-section de route est défini comme étant la moyenne de l'indice visuel et de l'indice structurel de cette sous-section de route:

$$I_G = \frac{I_v + I_s}{2}$$

Nous proposons donc d'utiliser dans cette formule l'indice structurel I_s qui a été déduit à partir de l' I_v .

Il convient de noter que ce sont les valeurs de départ (après l'inspection visuelle initiale de l'ensemble des sous-sections du réseau routier) qui seront utilisées pour l'analyse selon la systématique du CRR. Les formules permettant d'établir l'indice structurel à partir de l'indice visuel et de calculer l'indice global en tant que moyenne à partir de l'indice visuel et de l'indice structure ne sont employés que pour calculer ces valeurs de départ.



Chapitre 8

La boule de cristal de la systématique du CRR

Afin de pouvoir prédire à l'aide des indicateurs la manière dont la qualité d'une sous-section diminue avec le temps, la systématique du CRR utilise des formules générales: les «lois d'évolution». Ces formules expriment le processus de vieillissement «moyen» d'une route. Cela signifie que certaines sous-sections de route connaîtront une évolution plus rapide et d'autres plus lentes que ce qui est prédit avec la loi d'évolution adéquate. Ce phénomène sera estompé sur la moyenne du réseau routier dans son ensemble. Par conséquent, la prévision peut fournir une image raisonnablement précise du budget annuel nécessaire pour les mesures d'entretien. Le risque est toutefois réel que les dépenses proposées pour une sous-section de route donnée doivent dans un futur plus éloigné avoir lieu quelques années plus tôt ou plus tard. Ceci s'équilibre sur l'ensemble du réseau routier: les dépenses qui ont dû être faites un peu plus tôt sont compensées par d'autres dépenses qui ont pu être retardées. C'est également une des raisons pour lesquelles il est important d'inspecter régulièrement (chaque année ou tous les deux ans) l'ensemble du réseau: l'évolution de chaque sous-section peut ainsi être tenue à l'œil et les imprécisions dans les prévisions à plus long terme peuvent être supprimées quelques années plus tard.

Les lois d'évolution dans la systématique du CRR ont été établies par ce dernier afin d'être utilisées sur les réseaux routiers communaux belges. Le modèle des lois d'évolution permet à chaque utilisateur d'appliquer les formules de manière simple sur un réseau routier donné, en choisissant correctement les paramètres. Lorsque le gestionnaire routier dispose de suffisamment d'informations pertinentes sur son réseau routier, ces paramètres peuvent être établis rapidement, tout comme le CRR l'a fait lors du développement du modèle.

8.1 Lois d'évolution standard

Les lois d'évolution standard de la systématique du CRR sont des fonctions linéaires, qui supposent ce qui suit:

$$Y_i(X) = 0,9 - [K_{ik} (1 + T_k) \cdot B_{ij} \cdot X]$$

X = nombres d'années de service de la route.

i = 1 pour l'indice visuel.

i = 2 pour l'indice structurel.

Y_i = le type d'indice (visuel ou structurel):

$Y_1(X)$ = indice visuel après X années de service;

$Y_2(X)$ = indice structurel après X années de service.

K_{ik} = paramètre qui exprime l'impact sur la route de la charge du trafic lourd. K_{ik} dépend donc de la fonction k de la sous-section de route ($k = 1$ pour desserte, $k = 2$ pour collecte ou $k = 3$ pour transit) et diffère aussi pour l'indice visuel ($i = 1$) ou structurel ($i = 2$). La valeur de K_{ik} est, dans les modèles de la systématique du CRR, plus importante pour l'indice structurel que pour l'indice visuel.

T_k = pourcentage de croissance fixe du trafic au fil des ans (où $T_k \geq 0$ est la valeur de croissance; pour tenir compte par exemple d'une croissance annuelle de 2 %, $T_k = 0,02$ sera introduit). Dans la pratique, T_k dépendra probablement de la fonction k de la sous-section de route: $k = 1$ pour desserte, $k = 2$ pour collecte ou $k = 3$ pour transit. Ce paramètre doit de préférence être réglé par le gestionnaire routier lui-même. Si les informations nécessaires sont manquantes, nous proposons de choisir $T_1 = 0$, $T_2 = 0,02$ et $T_3 = 0,04$.

B_{ij} = paramètre qui, pour le type de revêtement j , exprime la vitesse à laquelle l'indice i diminue, sans tenir compte de la quantité et de la croissance du trafic lourd. B_{ij} dépend donc de l'indice (visuel ou structurel) et du type de revêtement (bitumineux, en béton ou modulaire). Quand une mesure d'entretien est réalisée; ce paramètre pourra aussi changer et modéliser différemment l'évolution ultérieure.

Etant donné que l'indice global est la moyenne de l'indice visuel et de l'indice structurel, le modèle d'évolution de l'indice global est totalement établi avec les modèles d'évolution de l'indice visuel et de l'indice structurel. La loi d'évolution pour l'indice global prend donc la forme suivante:

$$Y_3(X) = 0,9 - \frac{1}{2} [K_{1k} \cdot (1 + T_k) \cdot B_{1j} \cdot X + K_{2k} \cdot (1 + T_k) \cdot B_{2j} \cdot X]$$

$i = 3$ pour l'indice global;

$Y_3(X)$ = indice global après X années d'utilisation;

$B_{ij} = B_{2j}$ pour les lois d'évolution standard, ce qui fait que la formule prend la même forme que celle des indices visuel et structurel avec $K_{3k} = \frac{1}{2} (K_{1k} + K_{2k})$.

8.2 Impact d'une mesure d'entretien sur l'indice visuel, structurel et global

Après l'application d'une mesure d'entretien, la qualité de la sous-section de route va augmenter. Lorsqu'on souhaite, après l'exécution des travaux, continuer à prédire la qualité de cette sous-section, il nous faut en premier lieu transposer l'amélioration de la qualité découlant de la mesure d'entretien en une modification des valeurs des indices. Après l'exécution de quelque mesure d'entretien que ce soit, la surface de la route aura de nouveau un aspect excellent. Lorsqu'une inspection visuelle est réalisée juste après des travaux, aucune dégradation ne sera observée et l'indice visuel sera égal à 0,9. C'est pour cette raison que dans la systématique du CRR, nous fixons de nouveau cet indice sur 0,9 après une mesure d'entretien. Lorsque cette mesure se limite à des travaux sur la partie supérieure de la structure routière (donc en cas de réparations locales ou générales), nous ne modifions pas l'«indice structurel». Nous ne fixons l'indice structurel de nouveau à la valeur maximale de 0,9 que dans le cas d'un renforcement (ou d'une reconstruction) de la sous-section de route.

Par conséquent, l'indice global (qui est la moyenne de l'indice structurel et de l'indice visuel) augmentera après chaque mesure d'entretien, mais ne reviendra à 0,9 que dans le cas de mesures d'entretien de grande ampleur (renforcement ou reconstruction).

8.3 Lois d'évolution après l'exécution d'une mesure d'entretien

Une loi d'évolution est aussi utilisée après l'exécution d'une mesure d'entretien dans la systématique du CRR, de la même forme que pour l'indice global:

$$Y_3(X) = 0,9 - \frac{1}{2} [K_{1k} \cdot (1 + T_k) \cdot B_{1j} \cdot X + K_{2k} \cdot (1 + T_k) \cdot B_{2j} \cdot X]$$

où, par contre, on a généralement $B_{1j} \neq B_{2j}$.

Si, lors de l'utilisation de la systématique du CRR pour réaliser des prévisions, une mesure d'entretien du groupe «réparations locales» ou «réparations générales» est proposée, le modèle d'évolution utilisé dans les prévisions pour la sous-section de route entretenue sera modifié en augmentant la valeur de B_{1j} . Il nous faut souligner que seul le paramètre B_{1j} , qui appartient à l'indice visuel, est adapté et que le paramètre B_{2j} , qui appartient à l'indice structurel, reste inchangé. L'idée sous-jacente est qu'une «réparation locale» ou une «réparation généralisée» a bien un effet immédiat sur l'aspect de la surface (exprimé par l'indice visuel fixé à 0,9 juste après les réparations), mais n'apporte aucune rénovation au niveau de la structure plus en profondeur, ce qui fait que des dégradations réapparaîtront plus vite à la surface que dans le cas d'une rénovation complète de la structure.

Les routes ayant un revêtement modulaire échappent à cette règle. Ici, nous pouvons tout logiquement nous attendre à ce qu'une «réparation locale» ou une «réparation générale» n'apporte aucun changement fondamental, étant donné que les réparations consistent uniquement à remplacer partiellement ou complètement les éléments.

Le CRR a établi des modèles d'évolution de ce type. Des experts du Centre et de l'extérieur ont indiqué pour chaque mesure d'entretien ce qui, selon eux, est la «durée de vie» prévue X (exprimée en années) de la route réparée. Cette information a ensuite été introduite dans la formule qui suit, qui permet de calculer la valeur plus élevée de B_{1j} :

$$B_{1j} = \frac{1}{K_{1k}} \cdot \left[\frac{0,9 - v_s}{\frac{1}{2} \cdot (1 + T_k) \cdot X} - K_{2k} \cdot B_{2j} \right]$$

et où $v_s = 0,3$ ou $v_s = 0,5$ est la valeur-seuil suivante.

Pour les variantes de «renforcement» qui consistent à recouvrir la route de couches bitumineuses supplémentaires, le CRR a aussi réalisé un calcul de dimensionnement, afin de déterminer une valeur pour le paramètre B_{1j} dans la loi d'évolution après la réalisation de ce «renforcement». On est parti du principe qu'un recouvrement d'une épaisseur de 12 cm doit offrir une espérance de vie de vingt ans. On a ensuite calculé qu'un recouvrement mince de 6 cm sur une même route en mauvais état, devrait tenir environ dix-sept ans. À l'aide de ces deux estimations de durée de vie future après «renforcement», deux valeurs correspondantes pour le paramètre B_{1j} ont ensuite été établies avec la formule ci-avant et $v_s = 0,3$.

Lorsqu'on réalise la variante «reconstruction» comme «renforcement», on utilise alors à nouveau à partir de ce moment-là la loi d'évolution standard afin de prévoir l'évolution de cette sous-section de route. Il s'agit bien entendu d'une structure qui est neuve et qui satisfera donc à la norme.

Dans les trois communes pilotes, des données étaient disponibles, pour quelques sous-sections inspectées, sur les mesures d'entretien appliquées les années précédentes (uniquement pour les revêtements bitumineux). Ces informations ont été comparées à l'indice global découlant des inspections et aux

modèles d'évolution d'application après la réalisation des travaux d'entretien. Des corrélations encourageantes ont été trouvées entre les valeurs prévues et les valeurs mesurées de l'indice global.

8.4 Impact du trafic: fonction de la route, croissance annuelle

La catégorisation habituelle des routes locales dans les plans communaux d'aménagement et de mobilité se base sur les trois fonctions que ces routes peuvent remplir: route de liaison (dont la fonction est de «relier»), route de désenclavement (dont la fonction est de «désenclaver»: une ville, un quartier, un centre, des zones industrielles ou de services, un campus, etc.) et route de desserte (dont la fonction est de «desservir»: rues d'habitation et commerciales, contre-allées, routes agricoles).

Lors du dimensionnement des routes, on prend en compte presque exclusivement les véhicules lourds, car l'impact des véhicules légers sur la portance de la route est négligeable, contrairement à celui des véhicules lourds. Une large gamme de véhicules va utiliser la route, et chaque véhicule exerce sur elle une charge différente. Dans les modèles de dimensionnement des routes, il est donc fait usage de formules qui transposent les charges des différents véhicules en «charges d'essieu standard». Ces formules permettent de déduire que les véhicules légers exercent une charge pratiquement négligeable. Des formules de ce type ou de plus amples informations quant à l'impact de la charge du trafic sont par exemple données dans le Code de bonne pratique R 57/85 du CRR [15], dans le manuel du logiciel «QualiDim» (auparavant dénommé «DimMET») et dans le rapport final de l'action COST 336 sur le déflectomètre à masse tombante [16]. Dans ce contexte, les routes sont aussi réparties conformément à ce qui est décrit dans les cahiers des charges types (bouwklassen ou types de réseaux routiers).

La répartition en trois catégories de routes dans la systématique du CRR a surtout pour objectif de modéliser l'impact du trafic lourd sur la structure routière. Il n'est cependant pas réaliste de réaliser de manière systématique des comptages de trafic sur l'ensemble des sous-sections d'un réseau routier communal. C'est pour cela que les trois catégories de la systématique du CRR renvoient plutôt vers une répartition fonctionnelle des sous-sections, au lieu de les définir en fonction du nombre de véhicules lourds qui les emprunte. Il va de soi que la fonction d'une route correspond généralement avec la proportion de véhicules lourds du trafic sur cette route: le trafic lourd est important sur les routes de transit, très faible sur les routes de desserte et modéré sur les routes de collecte. Si cela devait s'avérer ne pas être le cas sur une sous-section particulière, celle-ci doit alors être placée dans la catégorie qui correspond au nombre de véhicules lourds qui l'emprunte (par exemple, de nombreux véhicules agricoles lourds sur une route agricole).

Etant donné qu'une route est dimensionnée pour le nombre d'essieux standard prévu, une même structure routière va, en termes de temps, durer plus longtemps si le trafic lourd est moins important que s'il est d'ampleur plus importante. Par conséquent, une loi d'évolution prédira que la qualité de la route, exprimée par une valeur d'indicateur (comme les indices visuel, structurel et global) diminuera plus rapidement dans le temps lorsque le trafic lourd est important que lorsqu'il l'est moins.

Plus le trafic lourd empruntant une route sur un même laps de temps est important, plus la chaussée s'usera rapidement. Lors du dimensionnement d'une route neuve, on tient compte des charges d'essieu prévues afin de transposer la durée de vie théorique souhaitée en années en un nombre de charges d'essieu standard que doit pouvoir supporter la structure. Généralement, on tient également compte de l'errance du trafic sur la bande de roulement. Lors de la transposition du spectre des charges d'essieu du trafic en une charge d'essieu standard (de par exemple 127 kN), le type de revêtement routier est également pris en compte.

La paramètre K , qui exprime le nombre d'essieux standard et leur impact sur l'éventuelle errance (répartition transversale) des véhicules sur une bande, est déterminé par la formule suivante (cf. [21]):

$$K = z \cdot \bar{n} \cdot N$$

$z = 1$ en cas de trafic canalisé (bandes de circulation d'une largeur de 3 m).

$z = 0,4$ en cas d'écoulement libre du trafic (bandes de plus de 3 m de large).

$z = 2$ pour les routes à une voie avec trafic canalisé.

\bar{n} = le nombre moyen d'essieux par véhicule lourd.

N = le nombre quotidien de véhicules lourds dans un sens de circulation.

Si l'on souhaite calculer le facteur K pour une charge de trafic moyenne sur des routes d'une même fonction, il faut adapter la valeur z de la formule à la largeur des bandes pour les routes de cette fonction dans un réseau routier standard. Nous calculons z comme suit:

$$z = (2 \cdot p_1 + 1 \cdot p_2 + 0,4 \cdot p_3) / 100$$

p_1 = le pourcentage de routes à une bande.

p_2 = le pourcentage de routes à trafic canalisé.

p_3 = le pourcentage de routes à écoulement de trafic libre.

Le tableau 4 donne les valeurs avec lesquelles K peut être calculé pour les routes de desserte, de collecte et de transit. Les nombres de ce tableau ont été considérés comme réalistes lors du développement de la systématique du CRR. Celle-ci utilise le rapport de l'impact du trafic par rapport au facteur d'impact K pour les routes de desserte.

	Route de desserte	Route de collecte	Route de transit
Nombre de véhicules lourds par jour et par sens de circulation (N)	25	50	100
Pourcentage de routes à une bande (p_1)	42	0	0
Pourcentage de routes à trafic canalisé (p_2)	58	56	0
Pourcentage de routes à écoulement de trafic libre (p_3)	0	44	100
Nombre moyen d'essieux par véhicule lourd (\bar{n})	2,25	2,70	2,70

Tableau 4 – Paramètres utilisés pour exprimer l'impact du trafic et calculer le facteur K

Les lois d'évolution pour les indicateurs dans la systématique du CRR tiennent aussi compte d'une croissance annuelle du trafic lourd. En effet, lorsque le trafic lourd augmente chaque année, la qualité de la route diminue plus rapidement dans le temps que lorsque ce trafic n'augmente pas.

L'augmentation du trafic lourd est un paramètre qui peut être réglé par catégorie de route: une croissance sur les routes de transit, une croissance sur les routes de collecte (avec une fonction de liaison) et une croissance sur les routes de desserte. Si le gestionnaire n'a pas une bonne idée de la croissance prévue du trafic lourd sur le réseau routier, nous proposons de supposer qu'il n'y aura que peu, voire aucune croissance sur les routes de desserte, que la croissance sera de 2 % sur les routes de collecte et de 4 % sur les routes de transit.

8.5 Origine, point fort et limitations des lois d'évolution dans la systématique du CRR

Fin des années quatre-vingt du siècle passé, le CRR a développé une première version de sa systématique pour la gestion des réseaux routiers communaux. Dans trois communes pilotes, les résultats ont été comparés à l'âge des structures routières de sous-sections inspectées. On a étudié quelle était la courbe qui offrait les meilleures corrélations: c'est le rendu linéaire qui s'est avéré être le meilleur. A partir de là, les modèles d'évolution standard ont ensuite été développés. Ceux-ci ont été confrontés aux expériences d'un groupe de travail constitués d'experts du CRR et d'ailleurs. Ce même groupe de travail a déterminé des variantes pour les modèles d'évolution après l'exécution de différentes mesures d'entretien. Des calculs théoriques ont aussi été réalisés pour le dimensionnement et le redimensionnement des routes, afin de s'assurer que les modèles d'évolution correspondaient à des attentes réalistes au niveau de la durée de vie des routes.

Les lois d'évolution ont donc été spécifiquement établies pour être utilisées dans les communes belges. Elles fournissent une image «moyenne» de l'évolution de l'indice visuel, structurel et global. Tout ceci permet de réaliser une analyse globale relativement fiable de n'importe quel réseau routier communal ou similaire en Belgique.

Etant donné que chaque réseau routier est néanmoins toujours un peu différent, ces lois d'évolution générales peuvent être évaluées pour un réseau routier spécifique dès que suffisamment de données d'inspections sont disponibles, ainsi que des informations sur l'âge des chaussées. Plus spécifiquement, ces modèles d'évolution peuvent être encore mieux accordés à la réalité d'un réseau routier donné lorsque des données d'inspection fiables ont été collectées pendant des années.

La proposition de calculer l'indice structurel à partir de l'indice visuel implique que l'on ne tienne pas compte des mesures d'entretien appliquées par le passé ou de l'âge de la structure routière. De ce fait, l'indice structurel est parfois surestimé dans certains cas. A cet égard, le choix de ne plus établir l'indice structurel sur base des mesures de la planéité longitudinale peut donc mener à une éventuelle surestimation de la qualité d'une partie du réseau routier.

Lorsque la systématique du CRR est utilisée suffisamment longtemps, que des inspections visuelles sont effectuées régulièrement et que l'on observe une évolution dans les valeurs des indices visuel, structurel et global, on peut alors envisager une méthode pour adapter l'indice structurel de certaines sous-sections de route à la réalité. Si des données d'inventaire sont disponibles concernant l'âge de la structure routière et les principales mesures d'entretien, un «avis d'expert» peut peut-être être formulé concernant la valeur théorique prévue de l'indice structurel. Si des données historiques sont disponibles concernant les mesures d'entretien, on pourrait alors décider d'utiliser l'une des autres lois d'évolution correspondant aux mesures d'entretien considérées dans la systématique du CRR, au lieu d'employer systématiquement la loi d'évolution standard au début de l'analyse à long terme.

Un point fort des modèles d'évolution est précisément qu'il est possible de réaliser une analyse à long terme du point de vue technique. Il est ainsi possible de modéliser les conséquences techniques de la réalisation trop tardive de certaines mesures d'entretien.

Chapitre 9

Mesures d'entretien

Les mesures d'entretien qui sont utilisées dans la systématique du CRR pour l'analyse réalisée dans le cadre de la gestion du réseau n'ont pour objectif que de comparer entre elles les différentes stratégies d'entretien. Une stratégie d'entretien propose bien un plan d'approche qui indique pour chaque sous-section de route quelle mesure d'entretien doit être appliquée (dans les vingt à trente ans), mais celui-ci ne doit pas être simplement suivi à la lettre. Chaque projet de travaux routiers nécessite une certaine préparation et a ses propres caractéristiques.

9.1 Réparations locales, réparations générales et renforcement

La systématique du CRR répartit les mesures d'entretien en trois groupes: réparations locales, réparations générales et renforcement. Les réparations locales sont les mesures d'entretien qui ne comprennent que des travaux au niveau du revêtement routier et qui sont d'ampleur limitée. Les réparations générales sont les mesures d'entretien qui interviennent uniquement sur le revêtement routier (et pas sur la fondation), mais qui sont réalisées sur toute la surface de la sous-section de route. Le renforcement recouvre les mesures d'entretien qui consistent en une intervention structurelle en vue d'augmenter la portance de la structure (la reconstruction d'une route en fait aussi partie). La systématique du CRR présente quelques alternatives pour chaque catégorie, en fonction du type de revêtement routier (bitumineux, en béton ou modulaire). Un prix unitaire doit être établi pour chaque alternative, dont la systématique du CRR peut tenir compte.

De manière très générale, une route neuve aura besoin après quelque temps de réparations locales, puis après un certain temps, une réparation générale pourra être utile, jusqu'à la fin de sa durée de vie, où un renforcement sera alors nécessaire.

Il va de soi que chaque route évolue à sa façon dans le temps, que de nombreux facteurs sont inconnus et qu'il est donc impossible de réaliser un entretien efficace en appliquant simplement à un intervalle fixe un certain type de mesures d'entretien. Afin d'avoir une idée de ce que signifient les différents types d'entretien (réparations locales, réparations générales et renforcement), nous indiquons ce qui dans la pratique et de manière générale peut être considéré comme des délais raisonnables pour appliquer ces différentes mesures. Le tableau 5 présente un aperçu et doit être interprété comme suit: sur une route bitumineuse neuve de desserte, nous pouvons nous attendre à ce qu'aucune réparation locale ne soit nécessaire les six premières années, qu'une réparation générale ne devra pas avoir lieu avant dix-huit ans et qu'un renforcement ne sera pas à l'ordre du jour avant trente ans. Pour une route bitumineuse neuve qui devra accueillir un trafic de transit important, ces étapes arriveront un peu plus tôt, mais le renforcement ne sera pas nécessaire avant au moins vingt ans.

		Desserte	Collecte	Transit
Enrobé	Réparations locales	6	5	4
	Réparations générales	18	15	12
	Renforcement	30	25	20
Béton	Réparations locales	7	6	5
	Réparations générales	28	24	20
	Renforcement	42	36	30
Pavés	Réparations locales	6	5	4
	Réparations générales	23	18	16
	Renforcement	35	28	25

Tableau 5 – Indication très générale du moment (en années après la construction) où l'on peut s'attendre à ce qu'un type de réparation soit nécessaire pour la première fois sur des routes respectivement en enrobé, en béton et en pavés et ayant respectivement une fonction de desserte, de collecte et de transit

9.1.1 Pour les revêtements bitumineux

Les réparations locales ne sont pas réparties en plusieurs variantes. Les réparations de ce type qui peuvent être effectuées sur des revêtements bitumineux sont par exemple la réparation de nids de poules, de flaches ou de faïençage à l'aide d'un mélange bitumineux ou d'asphalte coulé, le remplissage de fissures ou des joints avec une émulsion bitumineuse ou avec un enduit monocouche (ou un MBCF) sur une largeur limitée, le remplissage des ornières, etc. Les réparations devraient pouvoir tenir huit ans environ.

Pour ce qui est des réparations généralisées, la systématique du CRR n'envisage que trois variantes:

- enduit monocouche, pour lequel la systématique du CRR suppose que la structure routière dans son ensemble peut ensuite tenir encore douze à treize ans;
- enduit bicouche, pour lequel la systématique du CRR suppose que la structure routière dans son ensemble peut ensuite tenir encore quinze à seize ans;
- enduit scellé par un MBCF, pour lequel la systématique du CRR suppose que la structure routière dans son ensemble peut ensuite tenir encore quinze à seize ans.

La systématique du CRR tient compte de la durée de vie prévue susmentionnée. Il faut toutefois s'attendre à ce que les réparations tiennent moins longtemps et que des dégradations semblables à celles présentes lors de la réparation réapparaissent après un nombre d'années moins important. La durée des réparations dépend en grande partie de la charge du trafic, de la qualité de la structure et du revê-

tement réparés et, dans une certaine mesure, aussi de la qualité de l'exécution. Dans la réalité, un enduit monochouche ne durera souvent que cinq à sept ans avant de présenter des dégradations similaires. Pour un enduit bicouche et un enduit scellé par un MBCF, cette durée est plutôt de l'ordre de sept à dix ans seulement.

Il existe d'autres réparations généralisées:

- fraisage et remplacement de la couche de roulement;
- fraisage plus profond et pose d'une nouvelle couche de liaison et d'une nouvelle couche de roulement;
- une combinaison d'une des mesures précitées avec la pose d'une armature bitumineuse antifissure.

La systématique du CRR n'envisage que trois variantes de renforcement:

- recouvrement mince avec un mélange bitumineux (y compris une couche antifissure) d'une épaisseur de 6 cm, pour laquelle la systématique du CRR suppose que la structure routière dans son ensemble peut ensuite tenir encore dix-sept ans;
- recouvrement épais avec un mélange bitumineux (y compris une couche antifissure) d'une épaisseur de 12 cm, pour laquelle la systématique du CRR suppose que la structure routière dans son ensemble peut ensuite tenir encore vingt ans;
- remplacement de la totalité de la structure («reconstruction»), pour une durée de vie totale de trente ans.

La systématique du CRR tient compte de la durée de vie prévue susmentionnée. Il convient de souligner que le nombre d'années que durera ces renforcements par recouvrement dépend fortement de toute une série de facteurs, comme la charge du trafic et les causes des dégradations présentes dans les couches sur lesquelles le recouvrement a été posé. La systématique du CRR n'en tient pas compte.

Il existe aussi d'autres types de renforcements:

- élimination totale ou partielle du revêtement bitumineux existant et remplacement par un revêtement bitumineux plus épais. Un renforcement de ce type durera plus longtemps qu'un renforcement à l'aide d'un recouvrement mince de 3 à 4 cm seulement;
- recyclage in situ, où la fondation et le revêtement bitumineux existants sont fraisés, mélangés avec du ciment et recouverts d'un enduit ou d'un recouvrement bitumineux.

Les durées de vie prévues reposent sur les expériences des gestionnaires routiers et découlent de calculs où les chaussées sont dimensionnées à l'aide d'un modèle théorique. Ces durées de vie ont ensuite été utilisées afin de peaufiner les modèles d'évolution standard sur lesquels repose la systématique du CRR. Il s'agit en fait d'estimations optimistes, qui ne correspondent pas toujours avec la réalité d'un chantier routier spécifique.

9.1.2 Pour les revêtements en béton

Les réparations locales ne sont pas réparties en plusieurs variantes. Les réparations de ce type qui peuvent être effectuées sur des revêtements en béton sont par exemple le scellement des fissures, le (re-)jointoiement des joints, la réparation locale des nids de poules, etc. Ces réparations devraient pouvoir tenir seize ans environ.

Une seule variante de réparations générales est considérée:

- Remplacement de la couche de béton aux endroits présentant des dégradations (remplacement d'une dalle de béton en cas de revêtement en dalles). Ces réparations générales devraient tenir trente ans environ.

Trois variantes de renforcements sont considérées::

- recouvrement avec du béton, qui devrait tenir trente-neuf ans;
- remplacement de la couche de béton, pour une durée de vie totale de trente-huit ans;
- remplacement de la structure routière dans son ensemble («reconstruction»), pour une durée de vie totale de quarante-deux ans.

Les durées de vie prévues reposent sur l'expérience des gestionnaires routiers et découlent de calculs où des structures routières sont dimensionnées à l'aide d'un modèle théorique. Ces durées de vie sont ensuite utilisées pour affiner les modèles d'évolution standard de la systématique du CRR. Il ne s'agit plus alors de prévisions réalistes, qui ne correspondent certainement pas toujours avec la réalité d'un ouvrage routier précis.

9.1.3 Pour les revêtements modulaires

Les réparations locales ne sont pas réparties en différentes variantes car pour les revêtements modulaires, elles consistent uniquement en un repavage local.

Une seule variante de réparations générales est envisagée:

- repavage complet (avec les mêmes pavés), et remplacement de la couche de pose

Une seule variante de renforcement est envisagée:

- reconstruction totale (donc aussi la fondation).

Dans ce cas, il a été estimé qu'aucun affinement des modèles d'évolution standard de la systématique du CRR n'était nécessaire.

9.1.4 Motivations et limitations du choix des mesures d'entretien

La description donnée ci-avant des différentes variantes de réparations locales, réparations générales et renforcement a pour seul objectif de permettre une estimation du prix unitaire au mètre carré à prendre en compte. Des réserves peuvent être exprimées quant aux techniques proposées, qui ne sont peut-être pas les meilleures d'un point de vue technique. Tant que les rapports de prix entre les différents groupes de mesures d'entretien sont pris en compte, la description exacte des différentes variantes a moins d'importance.

L'exécution d'une mesure d'entretien a un impact sur les valeurs de l'indice structurel et de l'indice visuel. Cet impact ne dépend que du groupe auquel la mesure d'entretien appartient (réparations locales, réparations générales ou renforcements).

Après l'exécution d'une mesure d'entretien, on utilisera une autre loi d'évolution pour prédire l'indice global dans le futur. Le choix de la loi d'évolution après l'exécution d'une mesure d'entretien dépend non seulement du groupe auquel la mesure d'entretien appartient, mais aussi de la mesure d'entretien elle-même. La description donnée ci-avant des différentes variantes a mené à l'établissement des paramètres de ces lois d'évolution. Ici aussi, la tendance générale de l'impact, la catégorie à laquelle appartient la mesure d'entretien et son ampleur ont plus d'importance que la description exacte de la mesure d'entretien.

9.2 Détermination du prix unitaire de chaque mesure d'entretien

La systématique du CRR utilise des prix unitaires pour les différentes mesures d'entretien. Le but est d'utiliser des prix représentatifs, avec lesquels un choix stratégique, reposant sur des considérations financières, peut être fait.

Les prix unitaires sont donc les meilleurs prix moyens qui ont été appliqués sur des travaux récents au niveau du réseau routier. Il va de soi que les écarts par rapport au prix moyen peuvent être relativement importants lorsqu'on s'intéresse, au niveau du projet, à l'investissement réellement fait pour l'exécution d'un entretien spécifique sur une sous-section de route. Lors d'une évaluation au niveau de la gestion d'un réseau routier, ces écarts vont se compenser mutuellement et le calcul annuel qui sera réalisé pour l'ensemble du réseau sera bien réaliste.

En ce qui concerne les réparations locales, la meilleure manière de procéder consiste à calculer ce qui est investi en une année dans les réparations locales et de le diviser par la surface en mètres carrés ayant bénéficié d'un entretien.

Au niveau des réparations générales et du renforcement, il est possible d'examiner les projets qui ont été réalisés les années précédentes, afin d'estimer un prix moyen pour chaque type de revêtement routier et chaque sorte de réparations. Il va de soi qu'à côté du revêtement de la surface circulaire, les trottoirs sont parfois aussi (ré)aménagés, les bordures renouvelées partiellement ou totalement, une piste cyclable construite, etc. Il revient au gestionnaire routier d'estimer si ces investissements supplémentaires doivent être inclus ou non dans les prix unitaires moyens. L'avantage d'intégrer tous les investissements supplémentaires est que le budget annuel que la systématique du CRR estime pour le futur sera plus proche du budget réellement nécessaire. L'inconvénient est que d'importants écarts peuvent se produire par rapport à l'investissement moyen sur lequel on se base pour les travaux. Il importe que le même choix soit fait pour tous les types de revêtements routiers et de réparations: le rapport entre les prix unitaires doit être réaliste afin qu'ils puissent permettre d'établir au mieux le planning des travaux d'entretien, d'un pur point de vue financier.

9.3 Le «modèle d'épargne» économique

L'analyse économique de la systématique du CRR repose sur un «modèle d'épargne» inspiré des travaux de G. Delanois de 1988 [17]. Ces travaux n'étaient pas à l'origine destinés aux travaux routiers, mais ont pu facilement être appliqués à ceux-ci.

Afin de déterminer le moment le plus intéressant d'un point de vue économique pour effectuer l'entretien, on utilise les hypothèses qui suivent. Nous envisageons une mesure d'entretien du groupe «réparations générales» ou «renforcement». Si nous souhaitons réaliser cette mesure au cours de l'année T , dans le futur, il faudra alors à ce moment-là payer un prix (désigné ci-après par CA_T^{rep}) et il faudra donc épargner de l'argent. Pour ce faire, un montant doit être réservé chaque année (désigné ci-après par $CRACC_T^{rep}$). Dans l'entrefaite, des «réparations locales» sont bien effectuées chaque année. Les premières

années, un entretien de routine (brossage, etc.) suffit, mais par la suite, des réparations locales devront avoir lieu par endroits. Plus la route vieillit, plus des réparations locales seront nécessaires. Il faut alors se demander quand il sera plus intéressant de réaliser une mesure d'entretien généralisée plutôt que d'investir dans des réparations locales.

9.3.1 Mesure d'entretien générale

La lettre i représente l'indexation annuelle, exprimée en pourcents et transposée en un nombre compris entre 0 et 1. L'abréviation c^{rep} représente l'investissement pour une certaine réparation (ou mesure d'entretien) dans le cas où elle devrait être déjà réalisée la première année. Nous supposons que l'évolution du prix de l'exécution de la même réparation au cours d'une année ultérieure sera indexé à l'aide de l'index i .

La formule suivante donne donc le prix de la réparation lors d'une année ultérieure T :

$$C_T^{rep} = C^{rep} \cdot (1 + i)^{T-1}$$

T = l'année au cours de laquelle les travaux seront réalisés.

Pour la première année, c'est la formule suivante qui s'applique $T = 1$: $C_1^{rep} = C^{rep}$.

La lettre r représente le facteur d'escompte annuel, exprimé en pourcents et transposé en un nombre compris entre 0 et 1. Celui-ci permet de calculer la valeur actualisée de l'investissement réalisé pour la réparation au cours de l'année T :

$$CA_T^{rep} = C_T^{rep} \cdot (1 + r)^{-(T-1)}$$

L'investissement fait pour la réparation réalisée au cours de l'année T peut être étalé sur les années précédentes à l'aide du facteur de recouvrement de capital (*Capital Recovery Factor* – CRF):

$$CRF = \frac{r \cdot (1 + r)^T}{(1 + r)^T - 1}$$

Ceci correspond à un recouvrement constant qui, s'il est versé annuellement, permet de rembourser un capital de 1 € placé à un taux d'intérêt r en T années. Le facteur de recouvrement de capital CRF est l'opposé d'un coefficient de remboursement financier constant. Nous obtenons la valeur de l'investissement annuel constant équivalent pour l'entretien avec la formule:

$$CRACC_T^{rep} = CRF \cdot CA_T^{rep}$$

9.3.2 Réparations locales

Nous calculons également les dépenses totales qui sont nécessaires pour les réparations locales annuelles. La lettre c représente les investissements annuels faits pour les réparations locales la première année et il est supposé que les années suivantes, ils suivront une suite géométrique avec un taux de croissance σ . Ce taux est un nombre compris entre 0 et 1.

La suite géométrique est donnée par la formule:

$$C_t^{ent} = c \cdot (1 + \sigma)^{t-1} \cdot (1 + i)^{t-1}$$

$t = \text{l'année.}$

Pour la première année, c'est la formule suivante qui s'applique $t = 1$: $C_1^{ent} = c$.

Toujours avec un facteur d'escompte annuel r , nous calculons la valeur actualisée de l'investissement annuel réalisé pour les réparations locales:

$$CA_t^{ent} = C_t^{ent} \cdot (1 + r)^{-(t-1)}$$

La somme cumulative des valeurs actualisées des investissements annuels en réparations locales est alors calculée comme suit :

$$CA_t^{ent} = \sum_{t=1}^T C_t^{ent} \cdot (1 + r)^{-(t-1)}$$

Nous obtenons la valeur de l'investissement annuel constant équivalent en réparations locales avec la formule:

$$CEACE_T^{ent} = CRF \cdot CA_T^{ent}$$

où $CRF = \frac{r \cdot (1 + r)^T}{(1 + r)^T - 1}$ est toujours le facteur de recouvrement de capital (*Capital Recovery Factor* – CRF)

9.3.3 Détermination du moment optimal

Lorsque, simultanément, on épargne pour une réparation généralisée qui aura lieu l'année T et que l'on investit dans des réparations locales annuelles, le montant annuel totale revient à la somme:

$$CTA_T = CRACC_T^{rep} + CEACE_T^{ent}$$

Ce total dépend du moment T auquel la mesure d'entretien est réalisée. Si la mesure d'entretien est réalisée une année plus tard, il est possible d'épargner une année de plus et le montant à mettre de côté chaque année est moins élevé. Mais postposer d'un an la mesure d'entretien généralisé signifie qu'il faut réaliser des réparations locales une année de plus:

$$CRACC_T^{rep} < CRACC_{T+1}^{rep} \quad \text{mais} \quad CEACE_T^{ent} > CEACE_{T+1}^{ent}$$

Le total CTA_T , le plus bas indique donc la période d'intervention T optimale pour la mesure d'entretien.

9.3.4 Modèle simplifié de détermination des valeurs-seuils

Si nous supposons que les investissements faits dans les réparations locales sont proportionnels au temps (en années X) au cours duquel la route est utilisée et que le facteur d'escompte r est égal à 0, alors la formule suivante s'applique (la fonction dans X):

$$CTA_x = A \cdot X + \frac{B}{X}$$

$A =$ l'investissement annuel dans les réparations locales.

$B =$ l'investissement dans la mesure d'entretien générale.

Le moment optimal T pour l'exécution de la mesure d'entretien générale est alors le minimum de cette fonction, que nous pouvons calculer en déterminant le point zéro de la fonction dérivée:

$$A - \frac{B}{X^2} = 0$$

$$T = \sqrt{\frac{B}{A}}$$

Cette formule simple indique immédiatement que c'est surtout le rapport entre le prix B de la mesure d'entretien généralisé à réaliser au moment T et le prix A des réparations locales qui détermine le moment idéal de réalisation, et donc pas les prix absolus mêmes. Les valeurs-seuils qui sont utilisées dans la systématique du CRR restent donc valables tant que les rapports entre les prix restent plus ou moins identiques.

Les mesures d'entretien mentionnées dans le tableau 6 ont été utilisées pour l'établissement initial des valeurs-seuils (en 1990).

Entretien (revêtement bitumineux)	Prix unitaire (€/m ²)	Moment optimal T
Réparations locales	$A = 0,07$	
Réparation générale, variante 1 (enduit monocouche)	$B = 3,7$	8
Réparation générale, variante 2 (enduit bicouche)	$B = 5,6$	9
Renforcement, variante 1 (recouvrement mince, 6 cm)	$B = 14$	15
Renforcement, variant 2 (recouvrement épais, 12 cm)	$B = 23$	19
Renforcement, variant 3 (reconstruction)	$B = 93$	37

Tableau 6 – Prix unitaires originellement utilisés (1990) pour établir les valeurs-seuils

Le lecteur ne doit pas s'esquinter les yeux sur les descriptions des réparations générales ou des variantes de renforcement. Il ne s'agit ici que de mesures d'entretien de différentes classes de prix, en vue de réaliser une analyse économique. Cet exercice ne tient pas compte des aspects techniques des mesures d'entretien. Les descriptions spécifiques servent uniquement à remplir des prix unitaires réalistes dans la formule.

D'un point de vue technique, on aurait pu par exemple aussi choisir, comme variante de réparations générales, le «remplacement de la couche de roulement». On peut argumenter que, d'un point de vue technique, un enduit est parfois nécessaire avant huit ans et qu'il ne représente pas la solution technique la plus adéquate lorsque les dégradations superficielles sont trop nombreuses. Selon ce calcul simple, la solution économiquement optimale serait de réaménager totalement la route après trente-sept ans, mais d'un point de vue technique, cela doit avoir lieu à la fin de la durée de vie de la structure routière. Ces considérations techniques sont bien entendu pertinentes, mais n'ont pas leur place ici: elles doivent surtout être formulées au niveau du projet, dès que le gestionnaire routier commence à préparer un cahier des charges pour des travaux sur une ou plusieurs sous-sections de route. En guise d'illustration, nous présentons au tableau 7 une autre liste de variantes ainsi que les estimations des prix correspondants, à partir d'informations récentes (2015-2016).

Entretien (revêtement bitumineux)	Prix unitaire (€/m ²)	Moment optimal T
Réparations locales (colmatage des fissures, 5 cm, 10 % de la surface d'une sous-section de route de 3,5 m de large)	A = 0,143	
Réparation générale, variante 1 (enduit monocouche avec gravillonnage simple)	B = 2,25	4
Réparation générale, variante 2 (enduit scellé par un MBCF)	B = 5	6
Réparation générale, variante 3 (fraisage, nouvelle couche de roulement)	B = 15	10
Renforcement, variante 1 (remplacement de 10 cm d'enrobé)	B = 40	17
Renforcement, variante 2 (reconstruction)	B = 83	24

Tableau 7 – Variantes de mesures d'entretien et prix (récents) pour la détermination des valeurs-seuils

Une fois encore, nous soulignons que le moment optimal figurant dans les tableaux 6 et 7 ne se base que sur un modèle financier et qu'il ne tient pas compte des aspects techniques des mesures d'entretien. Il semble que la «réparation générale, variante 3» du tableau 7 indique un moment de dix ans, qui est très comparable au moment des réparations générales du tableau 6 (huit ou neuf ans). Les deux tableaux donnent donc plus ou moins le même moment optimal pour les réparations générales. Il en va de même pour le renforcement: les moments indiqués dans le tableau 6 sont du même ordre de grandeur que ceux du tableau 7.

9.4 Valeurs-seuils pour l'indice global

Trois valeurs-seuils pour l'indice global indiquent quand une certaine intervention technique n'est plus raisonnable économiquement parlant. Dans ce paragraphe, nous décrivons comment les valeurs-seuils qui sont utilisées dans la systématique du CRR ont été choisies. Nous répétons tout d'abord la signification de ces trois valeurs-seuils et de la répartition des sous-sections de route en quatre catégories qui en a découlé.

Lorsque l'indice global passe sous la valeur-seuil de 0,8, il est alors intéressant de réaliser des réparations locales. Cette valeur-seuil est fixée au moment où le «montant à consacrer annuellement» pour les réparations locales représente au moins 10 % du montant nécessaire pour une réparation généralisée.

Lorsque l'indice global passe sous la valeur-seuil de 0,5, il n'est plus intéressant économiquement parlant de se limiter à des réparations locales. Cette valeur-seuil a été fixée au moment où les réparations générales sont plus justifiées que les réparations locales d'un point de vue économique.

Lorsque l'indice global passe sous la valeur-seuil de 0,3, un renforcement (ou un remplacement de la structure routière) est alors plus justifié d'un point de vue économique.

La systématique du CRR prescrit que dès que l'indice global passe sous un seuil – éventuellement dans le futur, sur base d'un indice global déterminé suite à des inspections et en utilisant la prévision du modèle d'évolution, la mesure d'entretien correspondante est planifiée. Il convient de noter que la même mesure d'entretien devra généralement être appliquée quelques années après. Le moment optimal d'un point de vue économique sera par contre déjà dépassé. Si en plus, on attend trop longtemps, la valeur-seuil suivante peut aussi être atteinte et une autre mesure d'entretien, plus large et plus onéreuse, sera nécessaire.

Nous soulignons que les valeurs-seuils ont bien été établies à l'aide d'un raisonnement technico-financier, mais que le modèle utilisé n'est pas infaillible. Des valeurs ont ainsi été choisies pour quelques paramètres dans le modèle économique, le calcul réalisé pour les routes bitumineuses uniquement et des prix moyens utilisés pour les différents types de réparations. Nous avons toutefois observé que les choix réalisés n'avaient qu'un impact limité à quelques années sur le moment considéré comme optimal d'un point de vue économique pour les différents types de réparation. De plus, il semble exister une bonne correspondance entre les valeurs-seuils et les expériences dans la pratique: si nous choisissons les modèles d'évolution pour établir la dégradation de l'état d'une route dans le temps, les valeurs-seuils semblent être atteintes à des moments qui, dans la pratique, sont considérés comme les moments auxquels on s'attend à ce que les types de réparation appartenant à ces valeurs-seuils soient effectués. Ceci s'applique aussi bien pour les routes bitumineuses qu'en béton ou en pavages.

9.4.1 Des valeurs-seuils économiquement justifiées pour l'indice global – Le modèle d'épargne

Afin d'établir des valeurs-seuils économiquement justifiées, le modèle d'épargne décrit au § 9.3 a été utilisé.

Si nous partons du modèle simple pour déterminer les valeurs-seuils et que nous plaçons le modèle d'évolution pour l'indice global à côté de l'axe du temps, nous pouvons déterminer la valeur de l'indice global représentant le meilleur moment d'un point de vue économique pour réaliser la mesure d'entretien. Nous supposons dans ce cas qu'aucune réparation locale n'est effectuée et que l'indice global suit la loi d'évolution standard.

Pour transposer le moment optimal, exprimé en années, en valeurs-seuils pour l'indice global I_G , on a utilisé les résultats du tableau 6 et les modèles d'évolution établis à la fin des années quatre-vingt du siècle dernier pour les routes de desserte, de collecte et de transit. Le tableau 6 montre clairement que le moment optimal d'un point de vue économique pour la réalisation d'une mesure d'entretien dépend du prix de cette mesure. De ce fait, il est impossible de choisir une valeur-seuil qui soit économiquement optimale pour l'ensemble des variantes de réparations générales ou l'ensemble des variantes de renforcement. Des moyennes ont donc été choisies pour les valeurs-seuils, à savoir 0,5 pour les «réparations générales» et 0,3 pour les «renforcements / reconstructions».

Il existe également la valeur-seuil 0,8, qui a été fixée au moment où le prix des réparations locales correspond à 10 % du prix de la mesure d'entretien générale.

Ces valeurs-seuils correspondent donc à un moment sur les courbes des modèles d'évolution. Les correspondances d'application pour les chaussées asphaltiques sont données au tableau 8.

Valeurs-seuils pour I_G	Moment modèle d'évolution route de transit	Moment modèle d'évolution route de collecte	Moment modèle d'évolution route de desserte
0,8	3	4	5
0,5	14	15	19
0,3	20	22	28

Tableau 8 – Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution pour les routes bitumineuses (sans réaliser de réparations locales)

9.4.1.1 Choix des paramètres du modèle

Il va de soi que les prix initiaux des réparations locales et de la mesure d'entretien, tout comme les paramètres du modèle économique et du pourcentage de croissance σ , ont un impact sur le résultat des calculs. Le modèle d'évolution de l'indice global joue aussi un rôle, tout comme le fait de négliger l'impact des réparations locales sur l'état de la surface de la route et l'indice global. Par contre, lorsqu'on utilise des nombres réalistes, avec une certaine marge pour les variations, les résultats de ce modèle sont toujours très proches des valeurs-seuils 0,5 et 0,3.

Il n'est pas évident de choisir des valeurs réalistes pour les paramètres du modèle économique, qui doivent rester valables pour une longue période, de vingt à trente ans. Trois paramètres influencent le modèle:

- le pourcentage de croissance σ ;
- le facteur d'escompte r ;
- l'indice de prix i .

Par le passé, le CRR a effectué les choix suivants:

- $\sigma = 0,08$;
- $r = 0,1$;
- $i = 0,05$.

Plus le pourcentage de croissance choisi est élevé, plus les réparations locales devront être effectuées rapidement, et en plus grand nombre. Avec un pourcentage de croissance plus élevé, le moment optimal d'un point de vue économique pour une réparation généralisée est plus précoce.

Un indice de prix i moins élevé retarde le moment économiquement optimal d'une intervention. Cet effet se renforce à mesure que l'on se projette plus loin dans le futur.

D'autres valeurs réalistes pour le facteur d'escompte pourraient être 0,043, 0,040 et 0,025, mais cela n'a presque pas d'impact sur les résultats à court terme. L'impact de ce facteur devient plus important pour les prévisions sur une longue période.

Quelques références concernant les paramètres économiques:

- Herbert Glejser, *Le taux d'actualisation en Belgique*, in The Geneva Papers on Risk and Insurance, 13, No. 48, July 1988, pp. 257-264 [18];
- Herbert Glejser, *Calcul du taux d'actualisation applicable aux dépenses publiques en Belgique*, Cahiers Economiques de Bruxelles, n° 71, 1976, pp. 293-304 [19];
- Site web de la Banque nationale de Belgique (<http://www.nbb.be/fr>) [20].

9.4.1.2 Déterminer les valeurs-seuils sans simplifier le modèle

En guise d'illustration, nous donnons un autre exemple de calcul permettant de déterminer les valeurs-seuils.

Nous utilisons les prix unitaires des mesures d'entretien données dans le tableau 9 et les appliquons à une sous-section de route de 300 m de long et de 3,5 m de large.

	Mesure	Prix unitaire (€/m ²)	Surface à entretenir la première année (m ²)	Prix la première année (€)
	Réparations locales	1,43	105	150
A1	Réparation générale (variante 1)	6,43	1 050	6 752
A2	Réparation générale (variante 2)	15	1 050	15 750
V1	Renforcement (variante 1)	30	1 050	31 500
V2	Renforcement (variante 2)	40	1 050	42 000
V3	Renforcement (variante 3)	83	1 050	87 150

Tableau 9 – Prix du modèle économique non simplifié

Nous partons d'une situation idéale avec une sous-section de route reconstruite. L'indice global part donc de la valeur maximale de 0,9 la première année ($T = 1$). Les premières réparations locales sont effectuées lorsque l'indice global atteint la valeur-seuil de 0,8. Lorsque des réparations locales sont effectuées pour la première fois, elles portent sur 10 % de la surface totale de la sous-section de route. Cette part augmente néanmoins chaque année, selon un pourcentage de croissance σ . Nous utilisons pour les calculs un indice de prix $i = 0,03$ et un facteur d'escompte $r = 0,040$. Lorsqu'une inspection visuelle a

lieu immédiatement après des réparations locales, aucune dégradation ne sera observée. Pour prévoir la valeur de l'indice global après des réparations locales, nous choisissons donc pour l'indice visuel la valeur maximale de 0,9, tandis que l'indice structurel reste tel quel. Un an plus tard, l'indice structurel aura légèrement diminué (et nous supposons que cette régression n'a pas été diminuée par la réalisation de réparations locales) et l'indice visuel aura fortement diminué (les réparations locales sont considérées comme une mesure temporaire qui doit être répétée rapidement). La régression de l'indice visuel à la suite de réparations locales doit correspondre à la croissance σ du pourcentage de surface de la sous-section de route qui doit bénéficier d'une réparation locale. C'est pour cela que nous choisissons $\sigma = 0,09$.

En choisissant tous les paramètres et les prix, nous pouvons, grâce au modèle économique non simplifié, déterminer de manière univoque le moment optimal d'un point de vue économique pour les différentes variantes de réparation générales et de renforcement. Ces moments, exprimés en années, sont donnés au tableau 10. Ce tableau indique donc pendant combien de temps des réparations locales doivent être réalisées chaque année afin d'épargner de manière optimale pour les investissements nécessaires à une réparation généralisée ou à un renforcement. Une réparation locale est réalisée selon ce modèle pour la première fois lorsque l'indice global atteint la valeur-seuil de 0,8. Pour une route de transit, le modèle d'évolution du CRR prédit que l'indice global d'une route neuve atteigne la valeur-seuil de 0,8 un peu plus de trois ans après sa construction, pour une route de collecte, après environ quatre ans et pour une route de desserte, cinq ans.

	Mesure	Temps T (en années)
A1	Réparation générale (variante 1)	17
A2	Réparation générale (variante 2)	21
V1	Renforcement (variante 1)	26
V2	Renforcement (variante 2)	28
V3	Renforcement (variante 3)	33

Tableau 10 – Moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié

Lorsque nous envisageons les modèles d'évolution en fonction des moments qui figurent dans le tableau 10, nous obtenons les valeurs d'indice global qui figurent dans le tableau 11.

	Mesure	I_G pour route de transit	I_G pour route de collecte	I_G pour route de desserte
A1	Réparation généralisée (variante 1)	0,54	0,57	0,63
A2	Réparation généralisée (variante 2)	0,47	0,50	0,58
V1	Renforcement (variante 1)	0,39	0,43	0,52
V2	Renforcement (variante 2)	0,35	0,40	0,50
V3	Renforcement (variante 3)	0,27	0,32	0,43

Tableau 11 – Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route

Comme scénario alternatif, nous pouvons supposer qu'aucune réparation locale n'est réalisée jusqu'à ce que l'indice global atteigne une valeur de 0,5. Cela a lieu après environ treize années d'utilisation, dix-huit dans le cas d'une route de desserte. Nous supposons que c'est à ce moment que l'on commence à réaliser des réparations locales et à épargner de l'argent pour une réparation générale ou un renforcement. Dans ce cas, la première fois qu'une réparation locale est réalisée, elle devra porter sur environ 40 % de la surface de la sous-section de route. La première année, un montant de 600 € devra donc être dépensé pour réparer 420 m². Le moment optimal d'un point de vue économique pour les différentes variantes de réparations générales et de renforcements, exprimé en années, est donné dans le tableau 12 pour les différents scénarios.

	Mesure	Moment T (en années)
A1	Réparation générale (variante 1)	10
A2	Réparation générale (variante 2)	14
V1	Renforcement (variante 1)	17
V2	Renforcement (variante 2)	19
V3	Renforcement (variante 3)	23

Tableau 12 – Moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié – scénario alternatif

Lorsque nous envisageons les modèles d'évolution en fonction des moments qui figurent dans le tableau 12, nous obtenons les valeurs d'indice global qui figurent dans le tableau 13.

Le tableau 11 et le tableau 13 mettent en avant le fait que les valeurs-seuils 0,5 pour les réparations généralisées et 0,3 pour les renforcements correspondent bien avec le moment économiquement optimal des mesures d'entretien selon le modèle économique non simplifié.

	Mesure	I_G pour route de transit	I_G pour route de collecte	I_G pour route de desserte
A1	Réparation générale (variante 1)	0,50	0,51	0,55
A2	Réparation générale (variante 2)	0,43	0,45	0,50
V1	Renforcement (variante 1)	0,38	0,40	0,46
V2	Renforcement (variante 2)	0,34	0,37	0,44
V3	Renforcement (variante 3)	0,27	0,31	0,40

Tableau 13 – Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route – scénario alternatif model

Dans les deux scénarios, on part du principe que les dépenses prévues dans les calculs pour les réparations locales sont bien réalisées et que cela a un impact sur l'indice global qui décrit la qualité de la sous-section de route. Nous indiquons dans le tableau 14 quel devrait être l'indice global si aucune réparation locale n'a eu lieu au moment économiquement optimal pour l'exécution des mesures d'entretien générales.

	Mesure dans scénario avec épargne à partir de $I_G = 0,8$	I_G pour route de transit	I_G pour route de collecte	I_G pour route de desserte
A1	Réparation générale (variante 1)	0,31	0,35	0,45
A2	Réparation générale (variante 2)	0,18	0,24	0,36
V1	Renforcement (variante 1)	0,03	0,10	0,25
V2	Renforcement (variante 2)	0	0,04	0,21
V3	Renforcement (variante 3)	0	0	0,10
	Mesure dans scénario avec épargne à partir de $I_G = 0,5$	I_G pour route de transit	I_G pour route de collecte	I_G pour route de desserte
A1	Réparation générale (variante 1)	0,23	0,25	0,31
A2	Réparation générale (variante 2)	0,10	0,14	0,22
V1	Renforcement (variante 1)	0,01	0,06	0,15
V2	Renforcement (variante 2)	0	0	0,11
V3	Renforcement (variante 3)	0	0	0,02

Tableau 14 – Indice global atteint au moment optimal d'un point de vue économique selon le modèle économique non simplifié, selon la fonction de la route et lorsqu'aucune réparation locale n'a eu lieu

Les résultats du tableau 14 nous permettent de conclure que sans réparations locales, le moment économiquement optimal ne se situe plus aux alentours du moment justifié d'un point de vue technique pour la réalisation de réparations généralisées et des variantes moins onéreuses de renforcement.

9.4.2 Valeurs-seuils justifiées d'un point de vue technique pour l'indice global – Processus de vieillissement d'une route

D'un point de vue technique, l'histoire d'une route peut se résumer dans les grandes lignes comme suit: une route nouvellement construite devra après un certain temps être soumise à un premier entretien, qui consistera en des réparations locales. Lorsqu'une route atteint un certain âge, il est normal de s'attendre à ce que doive avoir lieu une réparation généralisée, qui n'intervient toutefois pas sur la fondation de la structure routière. Bien plus tard, un renforcement sera nécessaire, ou bien la route devra être reconstruite, fondation comprise.

Le tableau 8 reprend les moments qui, selon les modèles d'évolution standard pour les routes bitumeuses, correspondent aux valeurs-seuils qui donnent lieu à la planification de différents types de mesures d'entretien. Ceux-ci correspondent plus ou moins aux moments auxquels des mesures d'entretien de ce type doivent être prises dans l'histoire d'une route, d'un point de vue technique.

Pour ce qui est des routes en béton, ces moments sont donnés au tableau 15, et au tableau 16 pour les revêtements modulaires. Ici aussi, ces moments correspondent plus ou moins aux moments auxquels des mesures d'entretien de ce type doivent être prises dans l'histoire d'une route, d'un point de vue technique.

Valeurs-seuils pour I_G	Moment modèle d'évolution route de transit	Moment modèle d'évolution route de collecte	Moment modèle d'évolution route de desserte
0,8	6	7	8
0,5	21	23	29
0,3	31	34	43

Tableau 15 – Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution des routes en béton (sans réparations locales)

Valeurs-seuils pour I_G	Moment modèle d'évolution route de transit	Moment modèle d'évolution route de collecte	Moment modèle d'évolution route de desserte
0,8	5	6	7
0,5	17	19	24
0,3	26	28	35

Tableau 16 – Moments auxquels sont atteintes les valeurs-seuils selon les modèles d'évolution des routes à revêtements modulaires (sans réparations locales)

Comme stipulé au § 1.2, une route est dimensionnée pour une durée de vie théorique de vingt à trente ans pour un revêtement bitumineux, et plus (jusqu'à quarante ans) pour une route en béton. Cette durée se retrouve avec la valeur-seuil de 0,3. On s'attend en outre à ce qu'une réparation généralisée soit entre-temps nécessaire, que nous retrouvons à la valeur-seuil de 0,5.

Ces calculs de nature technique nous poussent à désigner 0,5 et 0,3 comme valeurs-seuils générales pour l'indice global et à ne pas utiliser des valeurs moins élevées dans les stratégies d'entretien de la systématique du CRR, comme cela pourrait être déduit de la justification économique des valeurs-seuils.



Chapitre 10

Stratégies d'entretien

Une partie importante d'un système de gestion des routes est l'analyse des conséquences de certains choix stratégiques pour l'application de mesures d'entretien. La systématique du CRR définit dix-huit stratégies différentes. Chacune d'entre elles présente une combinaison propre de mesures d'entretien.

Lorsque les modèles d'évolution prédisent que l'indice global d'une sous-section de route atteint une valeur-seuil, la stratégie propose ou non d'appliquer une certaine mesure d'entretien. Pour une même sous-section de route, les différentes stratégies proposeront donc sur une durée de vingt à trente ans une succession différente de mesures d'entretien.

10.1 Combinaisons de mesures d'entretien

La systématique du CRR repose sur dix-huit stratégies, qui proposent chacune une combinaison de mesures d'entretien différente pour les différents seuils d'intervention. Ces stratégies sont présentées au tableau 2.

La stratégie 18 sert uniquement de référence, car elle ne propose ni réparation ni renforcement. Dans ce cas, l'état général du réseau routier se dégrade systématiquement. Toutes les autres stratégies proposent d'entreprendre une action quand il est prévu que l'indice global d'une sous-section de route atteigne une valeur-seuil. Pour la valeur-seuil de 0,8, elles proposent toutes de réaliser des réparations locales. La variation entre les différentes stratégies se situe donc au niveau de ce qu'elles proposent pour les valeurs-seuils de 0,5 et de 0,3.

Les stratégies 1 à 9 sont très similaires. Elles proposent toutes pour la valeur-seuil de 0,5 une réparation générale et un renforcement à 0,3. Elles se différencient les unes des autres par les variantes qu'elles proposent. La stratégie 1 propose les variantes les plus onéreuses, la stratégie 9 les moins coûteuses.

Les stratégies 10, 11 et 12 proposent pour la valeur-seuil de 0,5 de réaliser des réparations locales au lieu d'une réparation générale. Pour la valeur-seuil de 0,3, elles proposent une variante de renforcement différente.

Les stratégies 13, 14, 15 et 16 proposent de réaliser une réparation générale non seulement pour la valeur-seuil de 0,5, mais aussi celle de 0,3. Les stratégies 13 et 14 proposent d'appliquer la même variante pour les deux valeurs-seuils, mais divergent au niveau de la variante proposée. Les stratégies 15 et 16 proposent les variantes moins onéreuses pour la valeur-seuil de 0,5 et plus onéreuses pour la valeur-seuil de 0,3.

La stratégie 17 propose des réparations locales pour toutes les valeurs-seuils.

10.2 Comparaison des stratégies d'entretien

Les différentes stratégies d'entretien proposent d'autres mesures d'entretien, et parfois aussi à d'autres moments. De ce fait, l'investissement annuel nécessaire diffèrera aussi et l'impact sur le niveau général de qualité du réseau routier (exprimé par les valeurs de l'indice global qui ont été prédites) sera différent.

Les différences entre les stratégies offrent par exemple la possibilité de démontrer l'impact qu'a le fait de négliger des réparations généralisées pour la valeur-seuil de 0,5: comparez les résultats des stratégies 10, 11 et 12 avec ceux des stratégies 1 à 9. Il est important d'examiner l'évolution de la qualité du réseau routier sur le long terme.

L'impact d'une variante plus onéreuse de réparations générales est visible en comparant par exemple les stratégies 1, 2 et 3 entre elles. Il importe ici de regarder, outre le prix de la variante plus onéreuse, le moment auquel un autre entretien de la sous-section de route sera nécessaire.

Les stratégies 13 à 15 donnent une idée des effets sur l'état général du réseau routier lorsqu'on choisit d'investir dans des réparations générales. Cela semble être une option intéressante lorsqu'on compare avec des stratégies qui comprennent de nombreuses mesures de renforcement plus onéreuses et lorsque les stratégies doivent postposer des travaux car le budget annuel disponible est restreint.

10.3 Effets du choix d'une stratégie sur l'état du réseau routier

Pour certaines valeurs-seuils, quelques stratégies proposent de n'appliquer aucune mesure d'entretien, ou bien de réaliser un autre type d'entretien que celui destiné à cette valeur-seuil. De ce fait, les travaux sont postposés, ou des mesures d'entretien plus conséquentes devront être prévues. Ceci a des conséquences financières: un report des travaux décale les dépenses y afférentes, mais peut aussi mener à des dépenses ultérieures plus importantes pour des travaux d'entretien plus onéreux. Il y a également des conséquences techniques: un report des travaux signifie que la surface de la route continuera à se dégrader l'année qui suit et qu'elle satisfera donc moins aux attentes des usagers; sur le long terme, les dégradations seront tellement importantes qu'une autre mesure d'entretien devra être appliquée.

10.4 Planification avec un budget annuel restreint

Lorsqu'une stratégie propose plus de travaux d'entretien que ne le permet le budget disponible, on peut décider de ne réaliser qu'une partie des travaux et de reporter le reste à l'année suivante. Si la stratégie prévoit peu de travaux l'année qui suit, de sorte que le budget disponible pour cette année-là ne doit pas être épuisé, les travaux postposés peuvent alors être réalisés. Ainsi, les investissements peuvent être répartis de manière plus régulière sur des années successives. Il existe toutefois un risque qu'une mesure d'entretien qui a été postposée (plusieurs années de suite) ne soit plus la mesure adéquate et que la stratégie propose alors une autre mesure plus onéreuse.

Par stratégie s , les investissements totaux I_{sX} pour l'année à venir X sont calculés:

$$I_{sX} = \sum_{i=1}^{N_{sX}} I_i$$

où l'on additionne sur toutes les N_{sx} les différents travaux d'entretien i qui devraient avoir lieu l'année à venir X selon la stratégie s , et où I_i est l'investissement pour les travaux d'entretien i . L'entretien i consiste à appliquer une mesure d'entretien (une des variantes de réparations locales, réparations générales ou renforcement) sur une sous-section de route j .

Le montant ainsi calculé I_{sx} peut être comparé avec le budget disponible pour l'année X . Il est ainsi possible d'établir si le budget disponible est suffisant ou non pour réaliser la stratégie s . Les stratégies qui nécessitent un montant supérieur au budget disponible peuvent alors être exclues. Si le gestionnaire souhaite néanmoins suivre une stratégie qui nécessite un investissement supérieur au budget, il est alors possible d'estimer de quel montant le budget annuel doit être augmenté.

10.5 Amortissement optimal des investissements

En réalisant une mesure d'entretien, la qualité de la route remonte. Les modèles d'évolution permettent de prédire le temps qu'il faudra pour que l'indice global de cette sous-section de route atteigne de nouveau une valeur-seuil. L'investissement fait pour la mesure d'entretien peut être amorti sur cette période. Lorsque ce calcul est réalisé pour toutes les mesures d'entretien qu'une stratégie présente, nous obtenons une idée de l'érosion financière. La stratégie qui permet les plus petits amortissements est la stratégie au sein de laquelle la perte de valeur due au vieillissement du réseau routier est la moins importante. Parmi toutes les stratégies qui permettent de réaliser l'entretien avec le budget annuel disponible, c'est la stratégie avec les amortissements les moins importants qui est la stratégie optimale.

Afin de pouvoir calculer les amortissements, les formules qui suivent peuvent être utilisées. Une stratégie s propose dans une année à venir donnée, un nombre de travaux d'entretien qui devraient chacun être réalisés sur l'une des nombreuses sous-sections de route. On calcule pour les travaux d'entretien i que la stratégie s propose pour une sous-section de route j , la valeur constante de l'amortissement A_{sj} :

$$A_{sj} = \left(\frac{I_i}{X_{ij}} \right) \cdot f(X_{ij})$$

I_i = l'investissement pour les travaux d'entretien i .

X_{ij} = la durée de vie restante en années de la sous-section de route j suite à l'entretien i sur cette sous-section.

$f(X_{ij})$ = une fonction d'escompte.

L'entretien i consiste à appliquer une mesure d'entretien donnée m – l'une des variantes de réparations généralisées ou de renforcement – sur une sous-section de route j . La durée de vie restante X_{ij} de la sous-section de route j après l'application de la mesure d'entretien m sur la sous-section de route j peut être calculées avec la formule:

$$X_{ij} = (I_G - v s_n) / ((1 + T_j) \cdot B_m)$$

I_G = l'indice global après l'application de l'entretien i sur la sous-section de route j .

$v s_n$ = la prochaine valeur-seuil égale à 0,5 ou à 0,3 qu'atteindra la sous-section de route j dans le futur si aucune réparation locale n'est effectuée d'ici-là.

T_j = un paramètre qui dépend de la fonction de la sous-section de route j (transit, collecte ou desserte) et qui exprime l'impact du trafic lourd.

B_m = un paramètre qui appartient à la mesure d'entretien m .

En utilisant les notations du § 8, B_m peut être calculé avec la formule:

$$B_m = \frac{1}{2} \cdot (K_{1k} \cdot B_{1j} + K_{2k} \cdot B_{2j})$$

Un bon candidat pour la fonction f est:

$$f(X_{ij}) = [(1+r)^{X_{ij}} - 1] / [r \cdot X_{ij} \cdot (1+r)^{X_{ij}}]$$

$r =$ le facteur d'escompte.

L'année au cours de laquelle l'indice global d'une sous-section de route donnée atteint une valeur-seuil est indépendante de la stratégie d'entretien. Chaque stratégie fera donc la même année une proposition d'entretien pour une sous-section donnée. Le type de mesure d'entretien, et donc l'investissement nécessaire, variera selon la stratégie. La durée de vie restante de la sous-section après les mesures d'entretien proposées par les stratégies diffèrera également. La valeur comptante de l'amortissement varie donc aussi, et de plus, un investissement important qui est amorti sur une longue période peut donner une valeur constante d'amortissement annuel moins élevée qu'un petit investissement qui est amorti sur une courte période.

En additionnant tous les amortissements comptants A_{si} sur tous les N_{sX} différents travaux d'entretien i qui devraient être réalisés selon la stratégie s au cours de l'année future X , le montant total A_{sX} d'amortissements comptants est calculé pour toutes les mesures d'entretien qui devraient avoir lieu l'année X :

$$A_{sX} = \sum_{i=1}^{N_{sX}} A_{si}$$

Lorsqu'on décide de se projeter sur une période de par exemple trois, six ou neuf ans, il est possible de totaliser par stratégie s les amortissements comptants de tous les travaux d'entretien au cours de cette période:

$$A_s(N) = \sum_{X=1}^N A_{sX}$$

$N =$ le nombre d'années de la période (donc par exemple $N = 3, 6$ ou 9).

La stratégie ayant le montant $A_s(N)$ le moins élevé limite l'érosion annuelle des investissements faits pour les mesures d'entretien à un minimum.

Ce raisonnement est moins fiables pour les prévisions à long terme. De ce fait, nous proposons de ne pas appliquer cette analyse pour une période supérieure à neuf ans.

10.6 Choix entre les mesures lorsque le budget est trop serré

Lorsqu'une stratégie s requiert un budget plus important que celui qui est disponible, il est possible de ne réaliser qu'une partie des travaux prévus et de reporter le reste à l'année suivante. Il revient alors de décider quels travaux doivent être effectués en premier lieu.

On peut également choisir de réaliser en premier lieu les travaux i ayant les amortissements comptants A_{si} les moins élevés, étant donné que ce sont eux qui présentent la plus petite érosion financière: il s'agit des investissements dans l'entretien qui auront le plus long effet positif sur l'état de la sous-section de route (exprimés dans les valeurs futures prédites de l'indice global).

10.7 Prise en compte des parties de réseau ou des souhaits spécifiques

La plupart du temps, le réseau routier d'une commune n'est pas homogène: les communes rurales ont des agglomérations et des routes rurales, les entités communales sont constituées de plusieurs zones densément peuplées ayant chacune un caractère propre, les villes sont constituées de quartiers de différentes fonctions (zones touristiques, rues commerçantes, quartiers d'habitation, etc.). Il peut donc être utile de subdiviser le réseau routier en parties de réseau et d'établir un planning séparé pour chacune de ces parties. De cette manière, les souhaits spécifiques (comme une exigence précise concernant la qualité minimale d'une partie de réseau) peuvent facilement être concrétisés sur une partie du réseau ou bien d'autres stratégies d'entretien peuvent être choisies sur d'autres parties. Il peut aussi être intéressant de regarder les différences entre l'application d'une seule stratégie sur l'ensemble du réseau et l'application de différentes stratégies sur différentes parties du réseau.

Au sein d'un réseau routier ou d'une de ses parties, le gestionnaire peut également souhaiter une priorité élevée pour un petit nombre de sous-sections de route. Il peut donc être intéressant de pouvoir fixer une exigence minimale de qualité par sous-section de route.

10.8 Indicateur pour la priorité des travaux

Une autre manière d'établir les priorités au niveau des sous-sections de route pour lesquelles une stratégie s a prévu une mesure d'entretien au cours de l'année X consiste à utiliser un indicateur Q spécialement conçu à cet effet. Cet indicateur combine l'aspect technique, l'aspect financier et les souhaits spécifiques du gestionnaire routier.

Pour chaque sous-section de route pour laquelle une stratégie s prévoit des travaux, nous calculons une valeur pour l'indicateur Q .

Concernant l'aspect technique, nous considérons $Q_1 = 0,9 - I_G$, où I_G est la valeur prévue de l'indice global pour la sous-section de route concernée l'année X .

En ce qui concerne l'aspect financier, nous considérons pour les travaux i sur la sous-section de route $Q_2 = 0,9 - (A_{si} / A_{sX})$, où A_{si} est l'amortissement comptant des travaux i et A_{sX} la somme des amortissements comptants de l'ensemble des travaux que la stratégie s prévoit pour l'année X .

Les souhaits du gestionnaire sont exprimés par $Q_3 = 0,8 - N / 5$, où $N = 1$ pour les travaux qui ont selon le gestionnaire une priorité élevée, $N = 2$ pour les travaux qu'il estime nécessaires et $N = 3$ pour les travaux qu'il estime moins prioritaires.

Le gestionnaire routier choisit le poids qu'il souhaite donner à chacun des trois critères: W_1 pour l'aspect technique, W_2 pour l'aspect économique et W_3 pour ses souhaits spécifiques. Les valeurs de W_1 , W_2 et W_3 doivent être des nombres positifs.

L'indicateur Q est un nombre compris entre 0 et 1 et est déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$Q = (Q_1 \cdot W_1 + Q_2 \cdot W_2 + Q_3 \cdot W_3) / (W_1 + W_2 + W_3)$$

Plus l'indice global est faible, et donc plus la sous-section se trouve dans un mauvais état, plus la valeur de Q_1 est élevée.

Plus l'amortissement comptant A_{s_i} est petit, et donc plus les travaux d'entretien y associés i sont rentables, plus la valeur de Q_2 est élevée.

Plus le gestionnaire routier considère comme importants certains travaux sur une sous-section de route, plus la valeur de Q_3 est élevée.

Les poids W_1 , W_2 et W_3 indiquent dans quelles mesures les critères contribuent à établir les valeurs de Q . Lorsque le poids d'un critère est de 0, celui-ci n'intervient évidemment pas dans l'établissement des priorités.

Plus la valeur de Q d'une sous-section de route est élevée, plus la priorité des travaux i pour cette sous-section est élevée.

Il incombe au gestionnaire routier d'évaluer si l'utilisation de cet indicateur Q est souhaitable lors de la détermination automatique des priorités des différents travaux pour lesquels la stratégie s prévoit une mesure d'entretien au cours de l'année X . Ceci s'applique plus spécifiquement lorsque le budget disponible pour l'année X est plus petit que le budget nécessaire selon la stratégie s .

Chapitre 11

Présentation et communication des résultats d'une analyse PMS

Le mode de présentation des résultats d'une analyse PMS et le degré de détails techniques ou financiers appliqué doivent être adaptés au public cible à qui seront communiqués les résultats.

11.1 Listes

Chaque stratégie proposée par la systématique du CRR indique pour chaque sous-section de route au cours de quelle année une mesure d'entretien devrait avoir lieu. Il est donc possible de dresser une liste de toutes les mesures d'entretien proposées par la stratégie sur le réseau routier. Cette liste peut être établie par année d'exécution, afin qu'elle donne un aperçu des travaux à réaliser.

Cette liste peut aussi être dressée par partie de réseau, ou sur base d'une autre subdivision du (par exemple selon la fonction de la route ou le revêtement).

11.2 Graphiques

L'évolution de l'indice global d'une sous-section, compte tenu des mesures d'entretien proposées par une stratégie, peut être représentée simplement à l'aide d'un graphique.

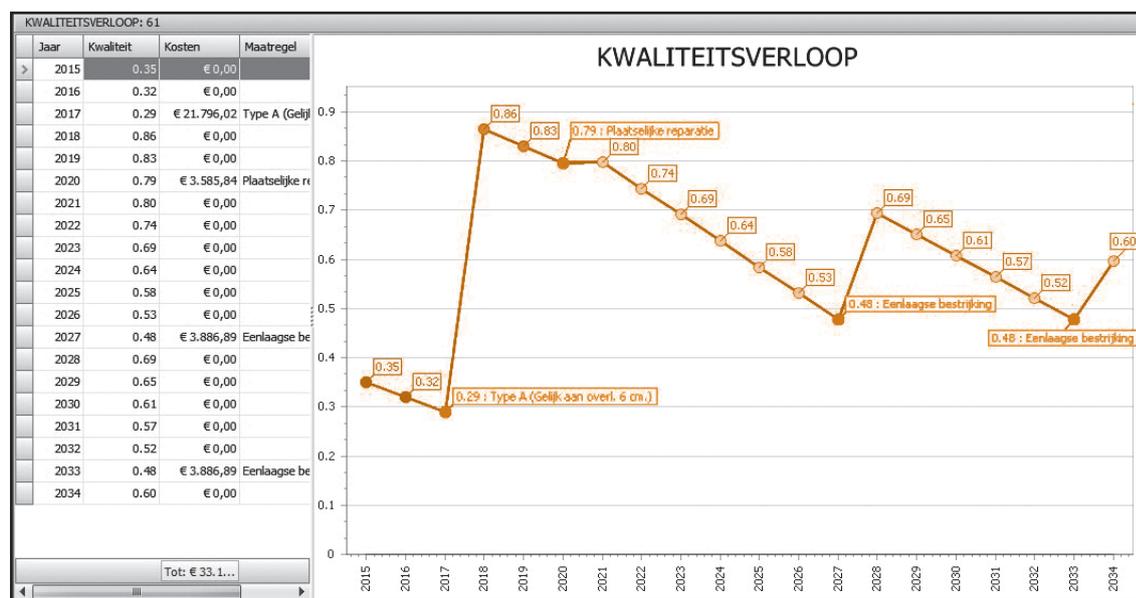


Figure 3 – Représentation de l'évolution de la qualité d'une sous-section de route sous la forme d'un graphique simple

Un graphique en colonnes peut indiquer de manière claire les budgets qui doivent être consacrés aux mesures d'entretien que la stratégie propose sur une période donnée (par exemple vingt ans).

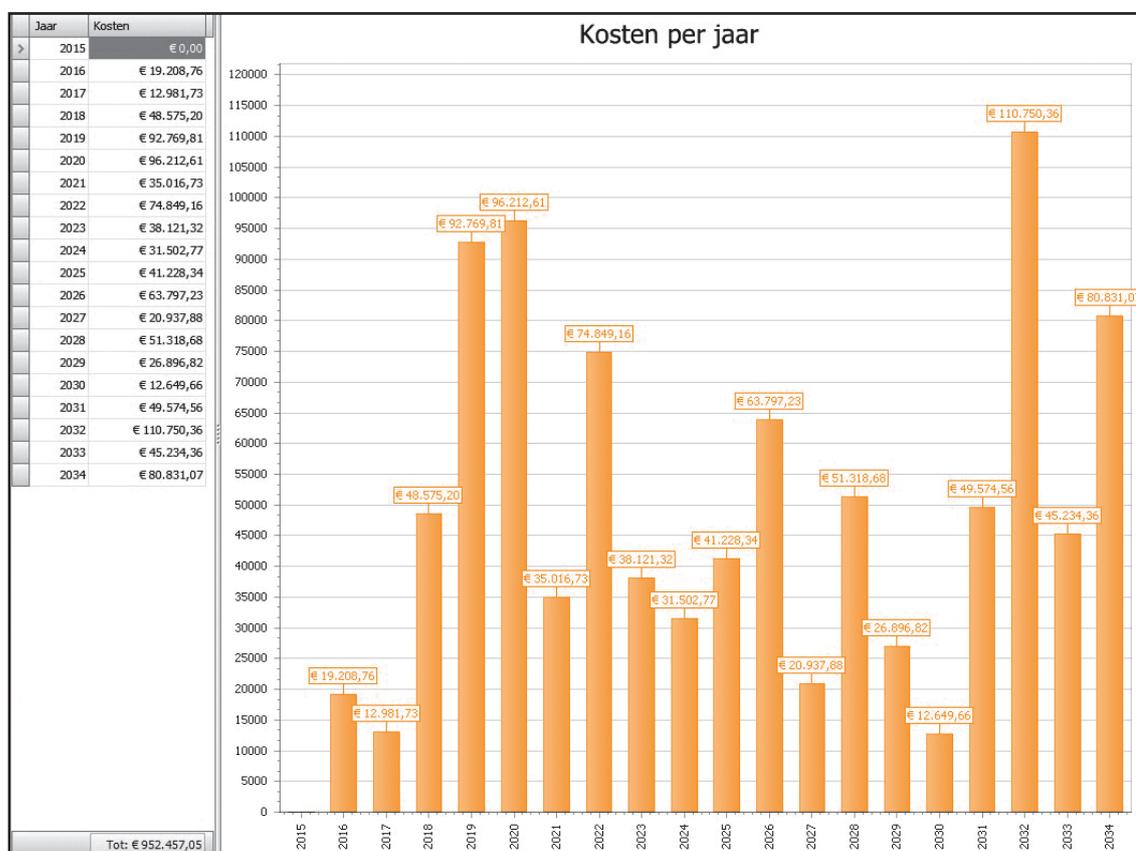


Figure 4 – Représentation de l'évolution des coûts par année pour les mesures proposées par une stratégie sous la forme d'un graphique en colonnes

La répartition des budgets entre les différentes mesures d'entretien peut aussi être représentée à l'aide d'un graphique en colonnes.

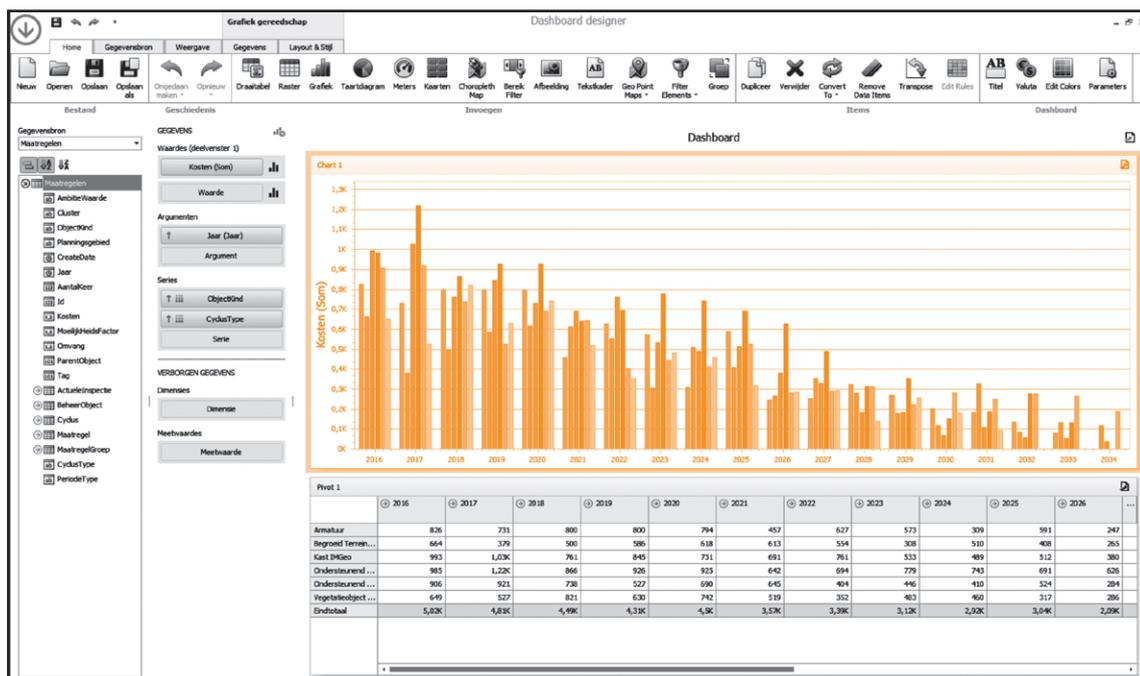


Figure 5 – Représentation des coûts par année pour chaque mesure sous la forme d'un graphique en colonnes, avec tableau

11.3 Cartes

Une carte sur laquelle chaque sous-section de route reçoit une couleur qui correspond à sa catégorie permet d'obtenir en un coup d'oeil une image globale de l'état général dans lequel se trouve le réseau routier. Cette carte attire néanmoins aussi l'attention sur les routes qui se trouvent en mauvais état et pour lesquelles il est temps d'envisager un renforcement ou une reconstruction.

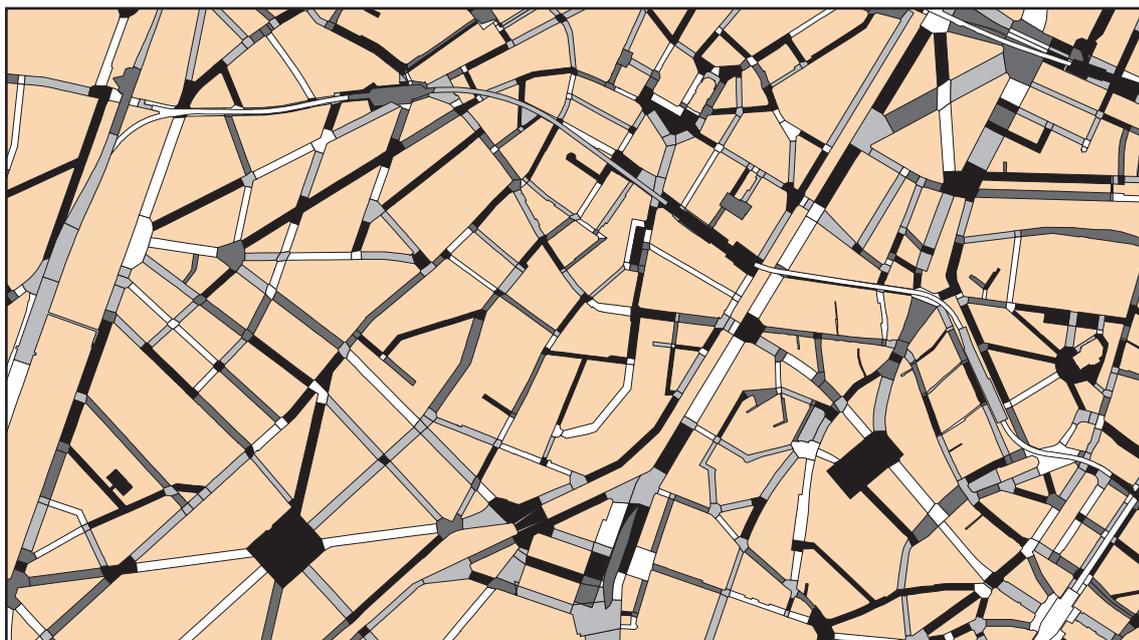


Figure 6 – Représentation sur carte de la répartition des sous-sections de route en classes de qualité selon l'indice global (blanc pour $I_g > 0,8$, gris clair pour $0,8 \geq I_g > 0,5$, gris foncé pour $0,5 \geq I_g > 0,3$, noir pour $I_g \leq 0,3$)

Une carte sur laquelle chaque sous-section de route reçoit une couleur lorsque l'indice global se situe non loin d'une valeur-seuil permet d'avoir en un coup d'oeil une image des routes qui devront être entretenues dans un futur proche. Il s'agit d'un mode de présentation complémentaire utile, car cette carte attire l'attention sur les sous-sections de route pour lesquelles des réparations locales ou une réparation générale est proposée.

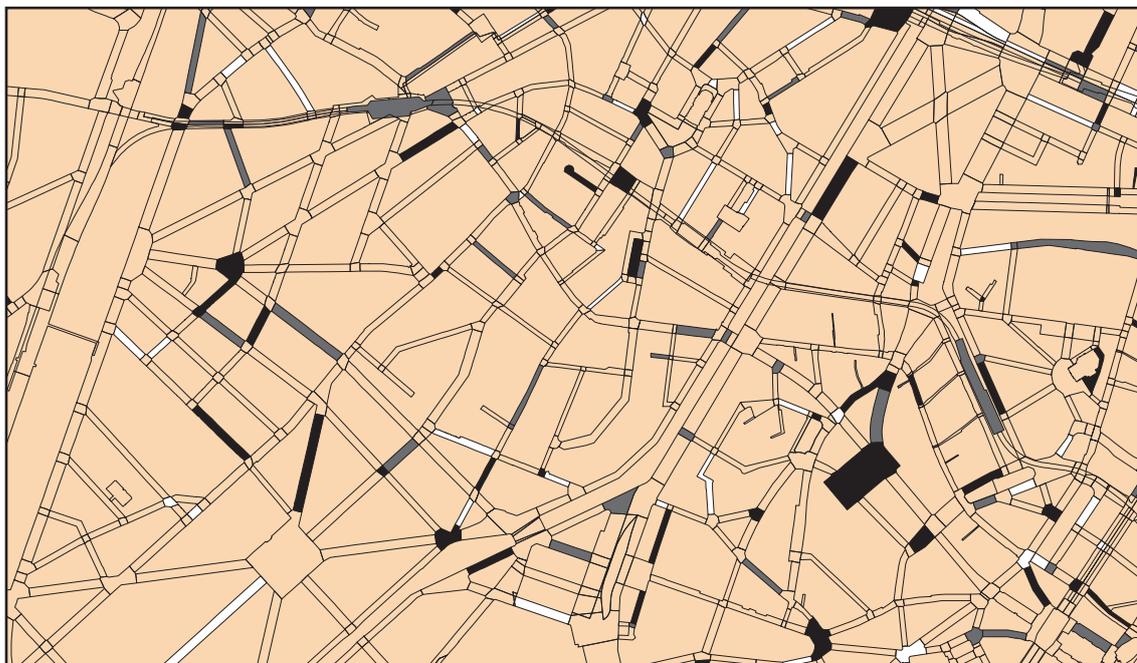


Figure 7 – Représentation sur carte des sous-sections de route dont l'indice global se rapproche d'une valeur-seuil entre deux classes de qualité (blanc à proximité de la valeur-seuil 0,8, gris à proximité de la valeur-seuil 0,5, noir à proximité de la valeur-seuil 0,3)

Ces deux cartes peuvent aussi être réalisées pour représenter l'état qui est prévu dans les trois ans ou une autre période, pour différentes stratégies. Ainsi, on peut clairement voir si la stratégie choisie aura un impact significatif à moyen ou à long terme.

Chapitre 12

De la gestion du réseau à la planification du projet

Après qu'une analyse a été réalisée avec un PMS et que les résultats ont été discutés, un budget est attribué à l'entretien. Toutefois, avant que cet entretien puisse avoir lieu, il sera nécessaire d'étudier plus en profondeur la situation réelle. Ce chapitre présente brièvement la manière de passer du planning global au niveau du réseau à la préparation des projets d'entretien concrets.

Nous nous limitons ici aux informations techniques et opérationnelles qui peuvent être obtenues des paramètres techniques (obtenus grâce à une inspection visuelle au niveau du réseau) et de l'analyse PMS. Pour une discussion des causes éventuelles des dégradations d'une route et des méthodes existantes pour construire ou améliorer les routes, nous renvoyons aux différents «Codes de bonne pratique» du CRR [15, 21-27]. Ces publications décrivent en détail les «bonnes pratiques» et traitent aussi bien du choix des mesures d'entretien que des détails importants lors de l'exécution des travaux.

La systématique PMS du CRR permet de faire un choix entre les différentes stratégies d'entretien. Dès que ce choix est arrêté, la systématique du CRR fournit une liste des travaux à réaliser. Cette liste indique par année les sous-sections qui doivent bénéficier d'un entretien. Il est aussi suggéré directement le type d'entretien (réparations locales, réparation générale ou renforcement) qui devrait avoir lieu. Ce chapitre relativise néanmoins l'exactitude de cette liste.

12.1 PMS comme soutien pour la gestion du réseau

Nous souhaitons tout d'abord signaler aux utilisateurs de la systématique du CRR que la base de l'analyse est une inspection visuelle effectuée par une personne. Une inspection visuelle est toujours quelque peu subjective, même si la méthode d'inspection décrite par le CRR se veut la plus objective possible.

12.1.1 Etablir les priorités

Les résultats de l'inspection visuelle jouent surtout un rôle important lorsque l'indice global se rapproche d'une valeur-seuil: lorsqu'un inspecteur vient juste de consigner un peu plus ou un peu moins de dégradations, l'indice global franchit la valeur seuil dans un sens ou dans l'autre. Par conséquent, il est estimé qu'un certain type d'entretien sera alors justifié ou non. C'est pourquoi nous proposons de classer toutes les sous-sections de route selon leur indice global par ordre décroissant et de sélectionner ensuite celles dont l'indice global se situe à proximité d'une valeur-seuil.

Nous proposons de soumettre toutes les sous-sections de route dont l'indice global se situe dans les intervalles $[0,85 ; 0,75]$, $[0,55 ; 0,45]$ et $[0,35 ; 0,25]$ à un contrôle détaillé, afin d'établir s'ils entrent en considération pour un entretien. Si l'indice global d'une sous-section ne dépasse pas une valeur-seuil, on peut alors envisager de réaliser un peu plus tôt l'entretien. Lorsque l'indice global d'une sous-section se situe juste en dessous d'une valeur-seuil, la mesure pour une valeur située au-dessus de ce seuil selon la systématique PMS du CRR n'est alors plus utile. Néanmoins, il est possible que l'inspecteur ait été trop sévère dans son évaluation et qu'une exécution immédiate de la mesure en question soit encore justifiée.

Lorsqu'on se penche ainsi sur les résultats de l'inspection visuelle, il est possible d'apporter de manière justifiée une légère modification dans les priorités: pour certaines sous-sections de route, l'entretien peut être quelque peu reporté, tandis qu'il peut être avancé pour d'autres, et parfois, une mesure de moindre ampleur peut aussi être prise plus rapidement au lieu de reporter des travaux et de réaliser quelques années plus tard les mesures plus onéreuses que propose la systématique du CRR. La condition pour ces modifications de priorité est que toutes les sous-sections concernées soient soumises à une analyse approfondie au niveau du projet. Plus spécifiquement, il importe de rechercher les causes des dégradations présentes pour ensuite décider des travaux d'entretien les plus appropriés.

12.1.2 Entretien préventif

Les sous-sections de route en très mauvais état sont faciles à indiquer. Leur indice global se situera sous les 0,3 et seront mûres pour un entretien curatif. Il est plus difficile d'effectuer une sélection parmi les sous-sections de route pour lesquelles un entretien préventif moins important serait bénéfique. Il s'agit des sous-sections de route dont l'indice global se situe entre 0,8 et 0,5. Il y a également les endroits où un entretien doit être effectué afin de maximiser l'investissement initial réalisé lors de la construction de la route. Dans ce sens, l'entretien des sous-sections de route dont l'indice global est proche de 0,8 et 0,5 revêt une importance prioritaire.

12.1.3 Vision à moyen terme

Les données de l'inspection visuelle permettent aussi d'établir un planning sur une période de trois ou six ans. Déplacer les priorités ne signifie rien d'autre qu'avancer ou retarder des mesures d'entretien au cours d'une période de quelques années. Les sous-sections dont l'indice global est encore un peu plus au-dessus d'un seuil devront toutefois bénéficier d'un entretien dans quelques années. Les modèles d'évolution de la systématique du CRR prévoient en outre le moment où cet entretien doit avoir lieu.

Lorsque toutes les sous-sections de route dont l'indice global est proche d'une valeur seuil ont été soumises à une analyse approfondie au niveau du projet, la manière dont les priorités peuvent être modifiées apparaîtra vite clairement. Ceci fournit un plan d'approche pour les années à venir.

Si l'inspection visuelle est répétée chaque année ou tous les deux ans sur l'ensemble du réseau routier, des informations complémentaires seront récoltées sur l'évolution des sous-sections individuelles, ce qui peut aider à valider le plan d'approche ou à motiver les modifications à apporter.

12.2 Obtenir des informations supplémentaires des données d'inspection

L'inspection visuelle qui se situe à la base de la systématique PMS du CRR se limite à un petit nombre de dégradations. De plus, aucune distinction n'est faite entre les différentes causes éventuelles d'une même dégradation. Un exemple typique sont les fissures dans un revêtement bitumineux. Alors que l'inspection visuelle pour la gestion du réseau ne fait aucune distinction, une fissure peut être limitée à la surface de la route ou bien être due à une fondation en mauvais état. Pour déterminer la cause d'une dégradation, une analyse plus approfondie doit avoir lieu au niveau du projet. D'autres conclusions peuvent néanmoins être tirées à partir des données collectées lors d'une inspection visuelle pour la gestion du réseau.

12.2.1 Tendances au niveau du réseau

En examinant la fréquence à laquelle une dégradation se produit dans toutes les sous-sections de route ayant le même type de revêtement routier, il est possible d'acquérir de précieuses informations sur l'état du réseau routier. Un autre grand classique est le joint qui s'est vidé sur un revêtement en béton: lorsque cette dégradation se produit trop souvent, il peut être judicieux de renouveler le jointoiment de l'ensemble du réseau routier. Peut-être une telle information indique-t-elle également que la réparation ou la conception initiale ayant eu lieu par le passé n'a pas été réalisée de manière optimale. Des telles considérations sont possibles en présence d'orniérage à certains endroits (arrêts de bus, feux de signalisation, etc.).

12.2.2 Sous-sections de route non homogènes

Il est possible qu'une sous-section de route présente en un endroit donné plus de dégradations qu'ailleurs. Ceci pourrait indiquer qu'elle devrait encore être subdivisée, par exemple car la partie présentant plus de dégradations à une autre fonction (trafic lourd plus important) que le reste de la sous-section de route. Afin de s'assurer de cela, des informations plus détaillées que le simple pourcentage de surface atteint par la dégradation est nécessaire: on doit pouvoir se faire une image des endroits approximatifs où les dégradations ont été observées sur la sous-section de route.

12.2.3 Premières indications de dégradations

Certaines combinaisons de dégradations peuvent être la première indication d'une cause plus structurale, par exemple une faiblesse dans la fondation.

Sur les dalles de béton recouvertes d'enrobé, des fissures transversales à distance régulière sont probablement le signe de mouvements verticaux des dalles, ce qui donne lieu à de la fissuration réfléchive.

Il convient de signaler qu'il ne s'agit que de premières indications, qui doivent être vérifiées au niveau du projet.

12.3 Amorce de la préparation du projet

Aucun PMS ne fournira suffisamment d'information pour pouvoir préparer un projet et rédiger un cahier des charges sans une étude complémentaire. Nous discutons brièvement les points qui doivent être approfondis afin de transposer une mesure d'entretien proposée par un PMS en un projet réalisable.

Au niveau du projet, la préparation des activités prévoit naturellement de détecter et de solutionner les problèmes, d'établir de manière détaillée l'entretien à réaliser et de développer un projet de haute qualité. Chaque projet diffère du précédent. Lors de la préparation d'un projet, l'objectif des travaux doit toujours être gardé à l'esprit: améliorer le confort de roulement (en éliminant par exemple les défauts d'uni), garantir la durée de vie de la structure (par exemple en arrêtant la pénétration d'eau dans les revêtements légèrement morcelés ou fissurés), augmenter la sécurité (par exemple en améliorant la rugosité, en apposant des marquages et en colorant la surface), renforcer la portance de la structure (par exemple en posant une couche supplémentaire), etc.

12.3.1 Se rendre sur place, réaliser si nécessaire des inspections supplémentaires

Lors de la préparation d'un projet, il est nécessaire de se rendre de nouveau sur place. Une inspection visuelle détaillée, au cours de laquelle on recherche également les causes éventuelles des dégradations visibles en surface, s'impose (par exemple à l'aide d'un catalogue des dégradations [28]). Parfois, des dégradations similaires ont des causes fort différentes. Rechercher la cause peut donner lieu à l'utilisation d'autres techniques d'inspection. Ainsi, un carottage au niveau d'une fissure dans un revêtement bitumineux peut permettre de déterminer la profondeur de cette fissure et s'il s'agit d'une fissure qui s'étend de la surface vers le bas ou, à l'inverse, a débuté au niveau de la fondation et s'est propagée vers le haut.

Lorsqu'un projet est planifié sur une assez longue distance, il n'est pas toujours certain qu'une même mesure d'entretien soit la meilleure solution sur toute la longueur. En délimitant des zones qui semblent se comporter de manière homogène, il est possible d'appliquer des mesures d'entretien différentes dans des zones différentes. Des essais peuvent éventuellement être effectués sur des carottes, afin d'évaluer l'état du matériau (lié) des différentes couches de la structure.

Pour contrôler les différentes couches de la structure, des ouvertures peuvent être réalisées dans le revêtement. Des essais à la plaque sont réalisés pour contrôler les épaisseurs et le compactage des couches. De plus, des échantillons du matériau de chaque couche de fondation sont prélevés afin d'être analysés en laboratoire.

Il est déconseillé de réaliser des travaux d'entretien sans avoir supprimé la cause des dégradations. Si la cause n'est pas traitée, le risque qu'une dégradation similaire se produise rapidement est élevé. La gestion des eaux surtout revêt une importance capitale.

Dans le cas des revêtements en dalles de béton, il faut contrôler que les dalles sont encore bien fixes. Les affaissements, les fissures d'angle ou les marches d'escalier sont le signe que les dalles ont bougé. Une mesure à l'aide du Faultimètre permet d'évaluer de manière objective le battement des dalles et peut fournir des informations utiles pour préparer les travaux d'entretien.

Parfois, une dégradation en surface est due à un manque de portance de la structure. En d'autres termes, la structure n'est plus en état de supporter le trafic lourd. Il pourrait s'avérer utile d'évaluer la portance des fondations des routes soumises à un important trafic lourd, par exemple en interprétant les mesures de déflexion réalisées avec le déflectomètre à masse tombante.

12.3.2 Prise en compte des conditions connexes

Le choix d'une mesure d'entretien dépend aussi de l'environnement dans lequel se trouve la route. Pour stabiliser un revêtement en dalles de béton, on peut opter pour le fractionnement des dalles suivi de la pose d'un recouvrement bitumineux. Lorsqu'une telle mesure est envisagée, il faut tenir compte du fait que le battement va produire des vibrations susceptibles d'endommager les bâtiments proches.

Recouvrir une route existante, ou augmenter l'épaisseur du revêtement routier, peut généralement se faire facilement en pleine campagne, mais pas lorsqu'il y a des limitations au niveau de la hauteur, comme les trottoirs, ou lorsque les maisons se situent directement au bord de la route.

Parfois, une mesure d'entretien peut être réalisée d'un point de vue technique, mais des travaux supplémentaires doivent aussi avoir lieu: les bordures doivent aussi être remplacées, par exemple. Il s'agit de dépenses supplémentaires, qui peuvent influencer sur le choix entre différentes mesures d'entretien envisageables.

La destination et la géométrie de la surface doivent aussi être prises en compte, car certaines mesures ou certains matériaux sont moins adaptés lorsqu'une résistance aux efforts tangentiels est requise (par exemple dans les tournants, les zones de décélération, les parkings, etc.). La charge du trafic peut aussi avoir un impact (par exemple sur le choix de la composition du matériau pour les revêtements bitumineux et de la granularité pour les enduits et les MBCF).

Certaines mesures peuvent augmenter le bruit routier et conviennent moins aux agglomérations, alors qu'elles peuvent être idéales à d'autres endroits.

12.3.3 Prise en compte des autres éléments (trottoirs, pistes cyclables, égouts, etc.)

La chaussée n'est bien entendu pas la seule partie du patrimoine routier qui doit être entretenue. Les routes communales recouvrent souvent des égouts, et sont bordées de trottoirs et de pistes cyclables. Les travaux sur la chaussée doivent être coordonnés avec les travaux au niveau des égouts et l'entretien est parfois l'occasion de construire un nouveau trottoir ou une nouvelle piste cyclable.

12.3.4 Budget limité

Il arrive parfois qu'on puisse choisir pour un même projet, selon des considérations techniques, entre différentes mesures d'entretien de coûts variés. Lorsqu'il faut faire attention au budget, on peut alors se demander si l'aspect du résultat final a une grande importance ou si certaines mesures plus onéreuses ne peuvent pas être limitées à quelques zones homogènes qui nécessitent fortement cette intervention.

12.3.5 Qualité de l'exécution

Des réparations bien exécutées sont aussi la garantie d'une solution durable. Il importe dès lors de prescrire correctement le mode d'exécution. Tant les cahiers des charges standard que les recommandations CRR sont de bonnes sources d'inspiration concernant les détails qui améliorent la qualité d'une réparation. La propreté de la surface sur laquelle une nouvelle couche est posée en est un exemple. Le moment ou la saison auquel a lieu l'exécution peut avoir un impact important sur la durabilité de la mesure.



Bibliographie

- [1] **Comité technique AIPCR C6 Gestion des Routes (2005)**
La gestion du patrimoine pour les routes. Une vue d'ensemble.
 Paris : Association mondiale de la route (AIPCR).
 Disponible en ligne <https://www.piarc.org/en/order-library/4539-en-Asset%20Management%20for%20Roads%20-%20An%20Overview.htm>, consultation du 28/03/2017.
- [2] **Comité technique AIPCR C4.1 Gestion du patrimoine routier (2008)**
Pratiques de la gestion du patrimoine routier.
 Paris : Association mondiale de la route (AIPCR).
 Disponible en ligne <https://www.piarc.org/en/order-library/6014-en-Asset%20management%20practice.htm>, consultation du 28/03/2017.
- [3] **van Hoogevest, L.; Derks, P.G.W. (2011)**
Handleiding globale visuele inspectie 2011.
 Ede : CROW (Publicatie, 146b).
- [4] **Briessinck, Margo; Van Troyen, Dirk (2013)**
PMS voor het Vlaams autosnelwegennetwerk.
 In : Association Belge de la Route (ABR) (Ed.): 22e [vingt-deuxième] congrès belge de la route, partageons connaissances et techniques au profit d'une route citoyenne, Liège, septembre 11-13, 2013.
 Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).
- [5] **Briessinck, Margo; Van Troyen, Dirk (2013)**
Evolutiemodellen en indicatoren voor het Vlaams PMS.
 In : Association Belge de la Route (ABR) (Ed.): 22e [vingt-deuxième] congrès belge de la route, partageons connaissances et techniques au profit d'une route citoyenne, Liège, septembre 11-13, 2013.
 Bruxelles : Association Belge de la Route (ABR).
- [6] **Subcommittee E17.42 on Pavement Management and Data Needs (2016)**
ASTM D6433 : Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
 West Conshohocken (USA) : American Society for Testing and Materials (ASTM).
 Disponible en ligne <https://www.astm.org/Standards/D6433.htm>, consultation du 22/12/2016.
- [7] **Subcommittee E17.42 on Pavement Management and Data Needs (2012)**
ASTM D5340 : Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.
 West Conshohocken (USA) : American Society for Testing and Materials (ASTM).
 Disponible en ligne <https://www.astm.org/Standards/D5340.htm>, consultation du 22/12/2016.
- [8] **Barrette, Timothy P. (2011)**
 Comparison of PASER and PCI Pavement Distress Indices, Master's Report.
 Michigan Technological University, Michigan, USA.
 Disponible en ligne <http://digitalcommons.mtu.edu/etds/502/>, consultation du 23/01/2017.
- [9] **Veverka, Vaclav (1988)**
De staat van onze secundaire wegen verbeteren d.m.v. het geïntegreerd beheersysteem GERSEC.
 In : De Bouwkroniek (40), 1988.

- [10] **Gorski, Michel; Vervenne, Paul; Veverka, Vaclav (1989)**
Integrated Pavement Management System for Secondary Networks.
 In : [Proceedings of the] International Seminar on Rural Road Transportation, New Delhi, April 19-22, 1989.
- [11] **Gorski, Michel; Vervenne, Paul; Veverka, Vaclav (1990)**
Gersec : A Pavement Management System for Secondary Road Networks.
 In : Road Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA) (Uit.) (1990): Sixth Conference Road Engineering Association of Asia and Australasia. "Preservation and Management of Road Systems"; Kuala Lumpur, 4-10 March 1990.
- [12] **Gorski, Michel (1999)**
Système de gestion intégrée des réseaux secondaires du Centre de Recherches routières belge.
 In : Journée Technique LAVOC, septembre 15, 1999.
- [13] **Van Geem Carl; Casse Christophe; Adolfs, T.; Diederiks, K. (2012)**
ViaBEL : a Tool for Decision Processes in Pavement Management of Secondary Road Networks in Belgium.
 In : 4th European Pavement and Asset Management Conference (EPAM 2012), Malmö, Sweden, September 5-7, 2012.
- [14] **Massart, Tim; Van Buylaere, Alain; Van Geem, Carl (2015)**
Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier.
 Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Méthode de mesure, MF 89/15).
 Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/mf8915>, consultation du 23/01/2017.
- [15] **Centre de recherches routières (CRR) (1986)**
Code de bonne pratique pour le dimensionnement des chaussées à revêtement en béton de ciment.
 Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 57/85).
 Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r5785>, consultation du 23/01/2017.
- [16] **European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research (COST) (2005)**
Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation. Final Report of the Action, Main Report.
 Brussel : European Commission (EC) - Directorate General of Transport. (COST-Transport, 336).
- [17] **Delaunois, Gérard (1988)**
Maintenance et réparations des constructions : modèles économiques. Travaux de recherches.
 Liège : Université de Liège Sart-Tilman. Centre de Recherches Economiques et Démographiques de Liège.
- [18] **Glejser, Herbert (1988)**
Le taux d'actualisation en Belgique.
 In : The Geneva Papers on Risk and Insurance - Issues and Practice, 13(1988)3, pp. 257–264. DOI: 10.1057/gpp.1988.19.
- [19] **Glejser, Herbert (1976)**
Calcul du taux d'actualisation applicable aux dépenses publiques en Belgique.
 In : Cahiers Economiques de Bruxelles, (1976)71, pp. 293–304.
- [20] **Banque nationale de Belgique**
Bienvenue sur le site de la Banque nationale de Belgique | nbb.be.
 Disponible en ligne <https://www.nbb.be/fr>, consultation du 28/03/2017.

- [21] **Centre de recherches routières (CRR) (1983)**
Code de bonne pratique pour le dimensionnement des chaussées à revêtement hydrocarboné.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 49/83).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r4983>, consultation du 23/01/2017.
- [22] **Centre de recherches routières (CRR) (1985)**
Code de bonne pratique pour le renforcement des chaussées souples à l'aide de matériaux bitumineux.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 56/85).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r5685>, consultation du 23/01/2017.
- [23] **Centre de recherches routières (CRR) (1991)**
Code de bonne pratique pour le renforcement des chaussées à l'aide du béton de ciment.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 63/91).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r6391>, consultation du 23/01/2017.
- [24] **Centre de recherches routières (CRR) (2001)**
Code de bonne pratique des enduits superficiels.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 71/01).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r7101>, consultation du 23/01/2017.
- [25] **Centre de recherches routières (CRR) (2005)**
Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements en béton.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 75/05).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r7505>, consultation du 23/01/2017.
- [26] **Centre de recherches routières (CRR) (2009)**
Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution de revêtements en pavés de béton.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 80/09).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r8009>, consultation du 23/01/2017.
- [27] **Groupe de travail CEG-3 Drainage, Centre de recherches routières (CRR) (2014)**
Code de bonne pratique pour la protection des routes contre les effets de l'eau.
Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR) (Recommandations, R 88/14).
Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r8814>, consultation du 23/01/2017.
- [28] **Agentschap Wegen en Verkeer (AWV) (2001)**
Catalogus schade aan wegverhardingen.
Brussel : Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (MVG); Administratie Wegen en Verkeer (AWV).
Disponible en ligne <https://docs.wegenenverkeer.be/Publicaties/Schadecatalogus.pdf>,
consultation du 14/04/2017.



Toutes les publications peuvent être téléchargées gratuitement après enregistrement sur notre site web www.crr.be
Une version papier peut être commandée au CRR.

Pour commander cet ouvrage:

publication@brrc.be – Tél.: +32 (0)2 766 03 26

Référence: MF 94 – Prix: 18,00 €.

Autres publications dans la série «Méthode de mesure»

Dans la série «Méthode de mesure», apparaissent les publications CRR qui contiennent les résultats pratiques obtenus dans un domaine spécifiques, avec mention des méthodes scientifiques et/ou les études d'information réalisées.

Référence	Titre	Prix
MF 91/16	Méthodologies pour l'utilisation du géoradar en auscultation de routes	11,00 €
MF 90/15	Méthode de mesure de la couleur des revêtements bitumineux colorés: détermination sur des carottes bitumineuses	10,00 €
MF 89/15	Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier + Annexe (Description et encodage des dégradations)	20,00 €
MF 87/13	Mesure continue de l'ovalisation des canalisations thermoplastiques	5,00 €
MF 86/13 -rév.1	Contrôle continu des déformations de conduites thermoplastiques pour réseau d'égout au moyen du BRRC-Defco-Test	10,00 €
ME 85/13	Bitumen analysis by FTIR spectrometry: testing and analysis protocol (uniquement disponible en anglais)	10,00 €

Autres séries CRR

-  Recommandations
-  Compte rendu de recherche
-  Synthèse



Centre de recherches routières

Votre partenaire pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947
boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél.: 02 775 82 20
www.crr.be

Tout l'art du gestionnaire routier consiste à investir au bon moment dans un entretien techniquement justifié, et qui permet de continuer à fournir sur le long terme, avec un minimum de moyens financiers, les performances de la route qui ont été prolongées. L'objectif est bien entendu qu'une chaussée neuve puisse tenir vingt ou trente ans, voire plus parfois, avant de devoir être totalement remplacée.

Lorsqu'il doit prendre des décisions stratégiques concernant des investissements à réaliser dans l'entretien des routes, le gestionnaire peut se baser sur un système de gestion des routes (*Pavement Management System* – PMS). Il s'agit d'un processus systématique d'entretien, de modernisation et d'exploitation du patrimoine, associant des principes d'ingénierie à des pratiques commerciales et à une justification économique solides, et fournissant des outils pour une approche plus organisée et plus flexible de prise des décisions nécessaires afin de répondre aux attentes de la population. Il s'agit également d'un outil permettant au gestionnaire de communiquer au sujet des décisions prises et de l'impact qu'elles devraient avoir sur la qualité du réseau routier.

La présente publication décrit la systématique développée par le CRR pour les réseaux routiers communaux, urbains ou comparables (à partir du chapitre 4). Au préalable, les chapitres 1 et 2 traitent en profondeur, entre autres choses, de la valeur d'un patrimoine routier, de l'utilité d'un entretien réalisé correctement et en temps voulu, et de ce qu'est un système de gestion des routes. Le chapitre 3 présente quelques exemples de PMS en action en Belgique et à l'étranger.

Mots-clés ITRD

3847 - ENTRETIEN ; 5910 - DURABILITE ; 0227 - INVESTISSEMENT ; 0255 - ECONOMIE ; 3037 - SYSTEME DE GESTION DE CHAUSSEE ; 1053 - RESEAU ROUTIER ; 9063 - QUALITE ; 0132 - PREVISION ; - 0237 - RENTABILITE - 3857 - AUSCULTATION - 5255 - ALTERATION (GEN) ; 8008 - Belgique