

# **ANALYSE DES BESOINS EN RÉPARATIONS DES CHAUSSÉES DANS LE RÉSEAU DE ROUTES NATIONALES EN RÉPUBLIQUE DE SERBIE**

N. RADOVIĆ

Direction des ponts et chaussées de la République de Serbie, Serbie et Monténégro  
radovicn@drenik.net

V. MIJUŠKOVIĆ

Faculté des transports de l'Université de Belgrade, Serbie et Monténégro  
vera.m@sezampro.yu

V. TUBIĆ

Faculté des transports de l'Université de Belgrade, Serbie et Monténégro  
tubic.v@sezampro.yu

## **ABRÉGÉ**

Le présent rapport porte sur les analyses des besoins en réparations des chaussées dans le réseau de routes nationales totalisant une longueur de 4.800 km en République de Serbie. Les analyses techniques et économiques sont faites en application du modèle HMD-4, avec un calibrage indispensable du modèle en fonction des conditions locales. Conformément au système de référence valable pour le réseau de routes nationales et régionales, l'analyse a inclus 38 directions routières, soit 427 tronçons de routes exigeant des stratégies d'entretien différentes.

## **MOTS CLÉS**

CHAUSSÉE / GESTION / ENTRETIEN / ÉVALUATION / CALIBRAGE / HDM-4

## **1. SITUATION ACTUELLE**

Au cours de la dernière décennie du XIX<sup>e</sup> siècle, on n'a pas suffisamment prêté attention au réseau routier en Serbie. Les ressources disponibles n'avaient pas assuré le minimum nécessaire à l'entretien et à la réparation. On n'a pas fait de recherches de l'état des routes. Les moyens budgétaires ont été répartis sans aucun argument.

La majorité de bases des données portant sur les caractéristiques des routes a été créée au cours des années quatre-vingt mais selon la conception moderne des temps d'alors. L'idée initiale comprenait une base de données sur les routes en vue de plusieurs fins d'utilisation bien que la plupart des données a été utilisé pour le programme HDM-III. Dans l'entre-temps les attentes et les besoins ont augmenté, on a développé les outils d'analyse mais la Base (BPP) n'a pas suivi les tendances. La base des données établie ultérieurement contient bien de renseignements permettant une bonne gestion mais l'utilisation des bases des données n'est pas introduites à titre de moyen habituel dans le processus de gestion en entier. Par conséquent, les renseignements disponibles n'ont pas été si utiles comme on a attendu, pour les raisons suivantes:

- Après l'entrée initiale des données, la banque des données sur les chaussées n'a pas été ou a été très rare ajournée. On n'a pas prévu obligation de faire remettre les

informations sur les mesures de réparation et autres interventions. On n'a effectué rapidement que le comptage du trafic et le nombre d'accidents routiers.

- L'entrée initiale des données à la banque a duré plusieurs années à causes de moyens limités pour cette fin et des capacités modeste de l'équipement de mesure. Dans de certains cas, un même indicateur est mesuré moyennant de différents types d'outillage. Ces deux arguments ont rendu l'utilisation des données plus compliquée et fatigante.
- La liaison facile entre les bases particulières est difficile, par exemple entre les données sur les accidents, rugosités des chaussées ou le glissement.
- Il n'y a pas de règles d'accès aux données, c'est-à-dire à la gestion des données.

De tous ces faits, plusieurs professionnels expriment leur doute d'établir un plan et programme fiables en vue d'intervention sur le réseau routier sans effectuer l'étude correspondante de la situation des routes. Pour cet objectif, il est nécessaire un bon plan, les moyens importants et le temps. Pour ne pas prolonger l'action la plus urgente, on a effectué une étude qui essaye de montrer à l'aide des données disponible la situation complète du réseau routier et d'assurer le progrès des activités de gestion du réseau routier.

## **2. ÉTENDUE DE L'ANALYSE**

La qualité et l'état d'une chaussée dans le réseau routier a une influence directe sur la sécurité et le confort du roulement, ainsi que sur le temps passé en route et, par cela même, sur les frais totaux de l'usager de routes.

L'analyse de la nécessité de conserver les biens routiers et de réparer les chaussées englobe le réseau de routes nationales en République de Serbie (Kosovo et Métohija non compris) d'une longueur de 4.511 km, conformément au système de référence.

Selon le système de référence valable pour le réseau de routes nationales et régionales, l'analyse a inclus 38 directions routières, soit 427 tronçons de routes. Seuls les tronçons à chaussées bitumineuses sont analysés. Les tronçons traversant les villes, ainsi que les tronçons à chaussées en ciment-béton, sont exclus de l'analyse.

L'ensemble du réseau de routes nationales en République de Serbie est réparti en trois groupes, selon l'intensité du trafic :

- (a) Groupe A, autoroutes et semi-autoroutes, avec une intensité annuelle moyenne du trafic - AADT (Average annual daily traffic) de 9.000 véhicules/jour
- (b) Groupe B, routes nationales avec AADT de 5.600 véhicules/jour
- (c) Groupe C, routes nationales avec AADT de 3.000 véhicules/jour

Les groupes A et B couvrent 1.500 km de routes de liaison les plus importantes (Corridor X et voies d'accès). Les caractéristiques de base moyennes de ces groupes de tronçons sont indiquées au tableau 1.

Tableau 1 – Caractéristiques moyennes des groupes de tronçons

Caractéristique	Total pour réseau analysé	Groupe A	Groupe B	Groupe C
Nombre total de tronçons	427	57	86	284
Longueur totale	4511,08 km	579,84 km	857,76 km	3073,48 km
Longueur moyenne d'un tronçon	10,56 km	10,17 km	9,97 km	10,82 km
AADT (n-bre véhicules/jour)	4428 véh./jour	9133 véh./jour	5638 véh./jour	3118 véh./jour
N-bre moyen de voies de circul.	2,22	3,51	2,00	2,03
Largeur moyenne de la chaussée	8,13 m	18,50 m	6,76 m	6,46 m
Coefficientt CBR moyen	7,82 %	6,26 %	8,12 %	8,05 %
Profondeur moyenne de l'ornièrè	23,47 mm	29,65 mm	25,88 mm	21,50 mm
Part moyenne de la surface fissurée	10,04 %	3,70 %	7,53 %	12,07 %
Part moyenne de la surface de bord de chaussée détériorée	4,80 %	0,74 %	3,30 %	6,06 %
IRI - valeur moyenne (m/km)	4,04 m/km	3,66 m/km	3,54 m/km	4,27 m/km
IRI – valeur maximum (m/km)	7,00 m/km	4,90 m/km	6,80 m/km	7,00 m/km
IRI – valeur minimum (m/km)	2,00 m/km	2,00 m/km	2,00 m/km	2,20 m/km
IRI – écart standard (m/km)	0,96 m/km	0,79 m/km	0,89 m/km	0,92 m/km
IRI – coefficient de variabilité	0,24 m/km	0,21 m/km	0,25 m/km	0,22 m/km
IRI moyen, mesuré en longueur (m/km/km)	4,01 m/km/km	3,64 m/km/km	3,60 m/km/km	4,20 m/km/km

Comme on voit, il semble que l'état du réseau de routes nationales en République de Serbie soit critique, si bien qu'il est indispensable d'entreprendre certaines dispositions visant à empêcher la dégradation croissante des chaussées.

### 3. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

Au moyen du modèle HMD-4 (prévu pour conception d'autoroutes et leur gestion), on a fait une analyse du programme de réparation des routes au niveau du réseau.

On a également fait une analyse au niveau du plan de travail pour l'entretien de chaussées (niveau II dans l'analyse HMD-4) pour les 20 ans à venir.

Le niveau existant de la qualité des informations (IQL) disponibles à la Banque de données relatives aux routes, se situe entre les niveaux IQL II et IQL III, et il est pensé pour servir au niveau de l'analyse du réseau de routes et, partiellement, à celui du projet, ainsi qu'à la planification et à la programmation.

La structure type de la chaussée est conçue pour une durée de vie de 20 ans; cependant, en pratique, un certain renouvellement du revêtement de chaussée est nécessaire déjà après 10 à 12 ans.

Dans l'analyse , les stratégies appliquées à l' entretien et aux réparations sont fixées sur la base de la détérioration escomptée en fonction des charges de circulation effectives. Elles dépendent : (i) de l'aspérité de la chaussée et de la profondeur des ornières; (ii) de la capacité de charge de la chaussée ; (iii) de l'état de la surface de chaussée au sens des fissures ou d'autres défauts et (iv) du frottement . La rugosité de la chaussée est mesurée au moyen du dispositif d'intégration des secousses (renseignements reçus de la part de l'Institut des ponts et chaussées, Belgrade), au sens de l'indice IRI (International Roughness Index - Indice international de rugosité), tandis que pour les routes asphaltées elle est normalisée selon les recommandations de la Banque mondiale (sous forme simplifiée - tableau 2):

Tableau 2 – Description des catégories d'état de chaussées

État de chaussée	Description de la chaussée	IRI indicatif	Période de validité
BON	Pas de défauts, seul entretien de routine est nécessaire	1,5 à 4	Premiers 5-7 ans, bon entretien de routine assuré
FAIBLE	Défauts significatifs exigent nouveau revêtement de chaussée ou renforcement pour éviter détérioration.	3 à 6	Premiers 7-12 ans chaussée peut rester dans un état faible encore quelques ans, mais frais des usagers montent brusquement
MAUVAIS	Défauts importants. Suit, ou est intervenue, destruction. Reconstruction nécessaire.	6 ou plus	Premiers 12-15 ans, une fois abîmée, suivent dégradation et destruction graves et brusques

La valorisation économique des mesures de réparation des chaussées est effectuée à l'aide du modèle HMD-4 (*analyse des programmes par tronçons*) :

- Analyses et pronostics fondés sur les données relatives à la circulation de l'année 2001,
- Levé de l'état de chaussées effectué en 1997, certaines projections élaborées jusqu'à 2001 sur la base des données mises à jour en 2001,
- Période analysée : 20 ans,
- Taux d'escompte: 12%,
- Frais d'accidents non compris,
- Avantages extérieurs non élaborés,
- Influences sur l'environnement ne sont pas prises en considération.

#### 4. DONNÉES D'ENTRÉE POUR UTILISATION DU MODÈLE HDM-4

Dans l'élaboration de cette étude on a utilisé les données suivantes relatives au réseau de routes :

- Systèmes de référence valable pour le réseau de routes nationales et régionales
- Base de données relatives aux routes nationales et régionales (Direction des ponts et chaussées de la République de Serbie)
- Base de données relatives aux transports (Direction des ponts et chaussées de la République de Serbie)

La Direction des ponts et chaussées a engagé l'Institut des routes et l'Institut IMS pour recueillir et traiter les données des dix dernières années.

Les données suivantes, recueillies par l'Institut des routes, ont été utilisées :

- les données concernant la rugosité de la chaussée (recueillies à l'aide du dispositif d'intégration des secousses)
- les données relatives aux déformations mesurées (recueillies à l'aide de FWD)
- les données relatives à la résistance au glissement (recueillies au moyen du pendule)
- les données relatives au tracé de route (recueillies au moyen du gyroscope)

Les données suivantes, recueillies et traitées par l'Institut IMSS, ont été également utilisées :

- les données relatives à la circulation (recueillies au moyen des compteurs automatiques de véhicules)
- les données relatives aux endommagements superficiels des chaussées (recueillies au moyen du système vidéo)
- les données relatives aux caractéristiques de la coupe transversale

Les données suivantes ont été tirées des études préalablement faites :

- les données relatives à la structure de chaussée et aux qualités géomécaniques du lit, de la couche tampon et de la couche portante
- les données historiques relatives à la réalisation et à l'entretien de chaussées
- les données mises à jour se rapportant à l'état de chaussées

En absence de données ou en cas de leur inadéquation, on a eu recours à certaines hypothèses et/ou on s'est servi des données standard du modèle HDM-4.

La nécessité de poursuivre le développement et la mise à jour de la base de données relatives aux routes est évidente en vue d'arriver à un meilleur support des analyses, tant bonnes que possible, techniques et économiques.

## **5. CALIBRAGE DU MODÈLE HDM-4**

### **5.1. Analyse des caractéristiques climatiques locales**

Les caractéristiques climatiques influent de façon notable sur le modèle de détérioration de la chaussée ainsi que sur certains aspects des frais subis par les usagers de routes. C'est pourquoi il est indispensable de calibrer le modèle HMD-4 en fonction des caractéristiques climatiques locales en République de Serbie. On croit que les facteurs suivants se situent parmi les plus importants:

- température de l'air,
- précipitations,
- pénétration du gel et conditions d'hiver.

L'analyse des caractéristiques climatiques est fondée sur les données reçues de la part de l'École supérieure d'hydrométéorologie de la République, afférentes à la période 1930 - 1960.

Les données suivantes sont considérées comme indicateurs d'influences climatiques et écologiques:

- précipitations mensuelles totales/moyennes ,
- indice de pénétration du gel et

- altitude moyenne d'un tronçon.

Les données concernant les caractéristiques climatiques sont reprises à "L'Atlas climatique de Yougoslavie" édité en 1975 par l'École supérieure d'hydrométéorologie de la République, ainsi qu'aux mappemondes topographiques correspondantes comportant les tronçons importants.

Les caractéristiques climatiques de la République de Serbie sont représentées par des paramètres climatiques fondamentaux, notamment ::

- température de l'air
- précipitations annuelles
- nombre de jours de précipitations neigeuses en une année
- durée de jours d'insolation
- profondeur annuelle de pénétration du gel.

## 5.2. Calibrage du modèle de détérioration des chaussées

Pour chacun des types d'endommagement de la surface on doit calibrer le modèle de dégradation de la chaussée. Le calibrage se fait pour chacun des modèles, par l'analyse de la sensibilité aux diverses influences.

Le calibrage d'un modèle se fonde sur la genèse de l'endommagement de la surface de chaussée, établie par le levé de la chaussée de chacun des tronçons (effectué au cours de la période 1990-2001).

C'est pourquoi la base de données englobe au moins deux points mesurés dans le temps pour chacun des cas d'endommagement superficiel de la chaussée et pour chacun des tronçons.

## 5.3. Calibrage des caractéristiques des moyens de transport

Les caractéristiques des moyens de transport nationaux ont été adoptées à partir de l'étude faite par la Faculté des transports de Belgrade en 2002. Les caractéristiques des moyens de transport sont décrites au chapitre suivant.

# 6. CARACTÉRISTIQUES DES MOYENS DE TRANSPORT

Dans cette analyse on a traité deux types de moyens de transport:

- moyens de transport comprenant les véhicules lourds (camions à remorque) pour les groupes de tronçons A et B (autoroutes, semi-autoroutes et routes principales les plus chargées)
- moyens de transport pour le groupe de tronçons C (autres routes principales).

La différence fondamentale entre ces deux types de moyens de transport consiste en types de camions à remorque pour les routes subissant des charges variées, selon l'analyse des caractéristiques des véhicules représentatifs dans le réseau de routes nationales en République de Serbie, faite en 2002 par la Faculté des transports de l'Université de Belgrade.

## 7. STANDARD (NORMES) D'ENTRETIEN

Lors de l'élaboration de l'analyse on a recouru aux diverses stratégies d'entretien et de reconstruction de chaussées.

Deux possibilités se sont présentées:

- option de base - alternative comprenant les travaux minimums d'entretien (colmatage des fissures et des trous de choc),
- option de réparation (de raccommodage), programme fixé de reconstruction selon les critères adoptés.

Les critères pour l'application de diverses stratégies d'entretien sont fondés sur l'expérience acquise dans le pays et à l'étranger. Il y a des critères spécialement définis applicables aux travaux d'entretien pour chacun des groupes de tronçons (pour les autoroutes et les semi-autoroutes, un niveau de services plus élevé est nécessaire). Avant d'accéder aux travaux d'entretien, on suppose que tous les travaux préparatoires sont déjà accomplis. Les stratégies d'entretien appliquées dans cette étude sont présentées aux tableaux 3, 4 et 5 .

Tableau 3 – Option de base pour les autoroutes et semi-autoroutes - Groupe A, B et C

Entretien standard	Code de standard	Unité	Prix écon.(€)	Prix fin. (€)	Critères moteurs	Résultats obtenus
1 COLM. TROUS DE CHOC	POTPAT	m <sup>2</sup>	6,6	8,3	chaque année	80% trous colmatés
2 COLM. FISSURES	CRKSL	m <sup>2</sup>	3,2	4,0	chaque année	80% fissures larges et transversales

Tableau 4 –Options pour reconstruction d'autoroutes et semi-autoroutes - Groupe A

Entretien standard	Code de standard	Unité	Prix écon.(€)	Prix fin. (€)	Critères moteurs	Résultats obtenus
1 COLM. TROUS DE CHOC	POTPAT	m <sup>2</sup>	6,6	8,3	chaque année	80% trous colmatés
2 COLMATAGE DES FISSURES	CRKSL	m <sup>2</sup>	3,2	4,0	chaque année	80% fissures larges et transversales
3 COUCHE MINCE AC, d=25 mm	THIN25	m <sup>2</sup>	7,8	9,4	Surface totale endomm. > 15% et ornière < 25 mm	IRI=2,2, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm
4 COUCHE MINCE AC d=25 mm +CORRECTION FORME	THSC25	m <sup>2</sup>	8,2	9,9	Surf. totale endomm. > 15% et ornière 25-40 mm	IRI=2,2, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm
5 REMIX PLUS (40+20mm)	REM+	m <sup>2</sup>	12,5	15,2	ornièrre moyenne ≥ 50mm et surf. totale endomm. >25%	IRI=2,1, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm
6 COUCHE AC d=50mm	OVL50	m <sup>2</sup>	10,5	12,6	IRI ≥ 4,0	IRI=2,0, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm
7 COUCHE AC d=70+50=120mm	OVL120	m <sup>2</sup>	23,8	28,6	IRI ≥ 5,0	IRI=2,0, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm
8 RECONSTRUCTION CHAUSSÉE d=50+70+300=420mm	PAVREC	m <sup>2</sup>	31,7	38,0	IRI ≥ 6,0	IRI=2,0, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm

Tableau 5 – Autres options de réfection des autoroutes et semi-autoroutes - Groupes de tronçons B i C

Entretien standard		Code de standard	Unité	Prix écon. (€)	Prix financ. (€)	Critères moteurs	Résultats obtenus
1	COLMATAGE TROUS DE CHOC	POTPAT	m <sup>2</sup>	6,6	8,3	chaque année	80% trous colmatés
2	COLMATAGE FISSURES	CRKSL	m <sup>2</sup>	3,2	4,0	chaque année	80% fissures larges et transversales
3	TRAITEMENT SUPERFICIEL d=16mm	SDD15	m <sup>2</sup>	5,0	6,0	surface totale fissurée >15%	IRI=2,2, Profondeur moyenne de l'ornière =0mm Skid resist. 0,55SFC DT: 0,7mm
4	TRAITEMENT SUPERFICIEL +CORRECTION FORME d=16mm	SDSC15	m <sup>2</sup>	5,4	6,5	surface totale fissurée >15% et ornières 20 - 30mm	IRI=2,2, Profondeur moyenne ornières =0mm Skid resist. 0,55SFC DT: 0,7mm
5	COUCHE MINCE AC, d=25 mm	THIN25	m <sup>2</sup>	7,8	9,4	surface totale endomm. > 15% et ornière < 25 mm	IRI=2,2, Profondeur moyenne ornières =0mm
6	COUCHE MINCE AC d=25 mm + CORRECTION FORMES	THSC25	m <sup>2</sup>	8,2	9,9	surface totale endomm. > 15% et ornière 25-40 mm	IRI=2,2, Profondeur moyenne ornières =0mm
7	REMIX PLUS (40+20mm)	REM+	m <sup>2</sup>	12,5	15,2	Profondeur moyenne ornières ≥ 50mm et surface totale endomm. >25%	IRI=2,1, Profondeur moyenne ornières =0mm
8	COUCHE AC d=50mm	OVL50	m <sup>2</sup>	10,5	12,6	IRI ≥ 4,5	IRI=2,0, Profondeur moyenne ornières =0mm
9	COUCHE AC d=70+50=120mm	OVL120	m <sup>2</sup>	23,8	28,6	IRI ≥ 5,5	IRI=2,0, Profondeur moyenne ornières =0mm
10	RECONSTRUCTION CHAUSSEES d=50+70+300=420mm	PAVREC	m <sup>2</sup>	31,7	38,0	IRI ≥ 6,5	IRI=2,0, Profondeur moyenne ornières =0mm

## 8. ANALYSE DU PROGRAMME DU RÉSEAU ROUTIER

L'analyse est faite au niveau de planification des travaux (2<sup>ème</sup> niveau dans l'analyse HMD-4) pour une période de 20 ans. Pour examiner les questions économiques, on a adopté le taux d'escompte de 12 %. Aux chapitres qui suivent on a présenté en détail les résultats du programme du réseau routier pour chacun des groupes de tronçons routiers :

### 8.1. Tronçons de route du groupe A (budget illimité)

Les tronçons de route du groupe A sont analysés dans une longueur totale de 579,84 km. S'agissant du budget illimité et ayant en vue les conditions et critères fixés pour l'application de certains standard d'entretien, on est parvenu aux conclusions suivantes:

- Pour la période de 20 ans au cours de laquelle on effectuera les analyses, les standard d'entretien techno-économiques optimaux appliqués paraissent économiquement justifiés, par le biais du modèle HDM-4, sur 48 tronçons totalisant une longueur de 509,63 km (87,9 % de la longueur considérée).
- Le taux moyen économique interne de remboursement des investissements (EIRR - Economic Internal Rate of Return) par tronçon du groupe A s'élève à 36,5 %. Les valeurs obtenues de EIRR varient entre 13,2 % et 95,7 % .
- La valeur totale actuelle nette (NPV - Net Present Value) s'élève à 417;48 millions d'euros. La NPV par tronçon se monte à 7,6 millions d'euros. Les valeurs obtenues de NPV par tronçon se situent entre 0 et 65,2 millions d'euros.
- L'état moyen des chaussées, exprimé par la rugosité des voies (IRI) pour les options de base (valeur minimum), s'élèvera : IRI = 9,0 m/km (voir la figure 1).
- L'état moyen des chaussées, exprimé par la rugosité des voies (IRI) pour les options de réfection (valeur minimum), s'élèvera : IRI = 2,8 m/km (voir la figure 1).
- Les frais totaux d'entretien pour les options de réfection sont évalués à 252,93 millions d'euros. .
- Durant la première année de la période faisant l'objet de l'analyse, le coût des travaux de réfection s'élèvent à 91,5 millions d'euros (36,2 % du coût total de réfection).

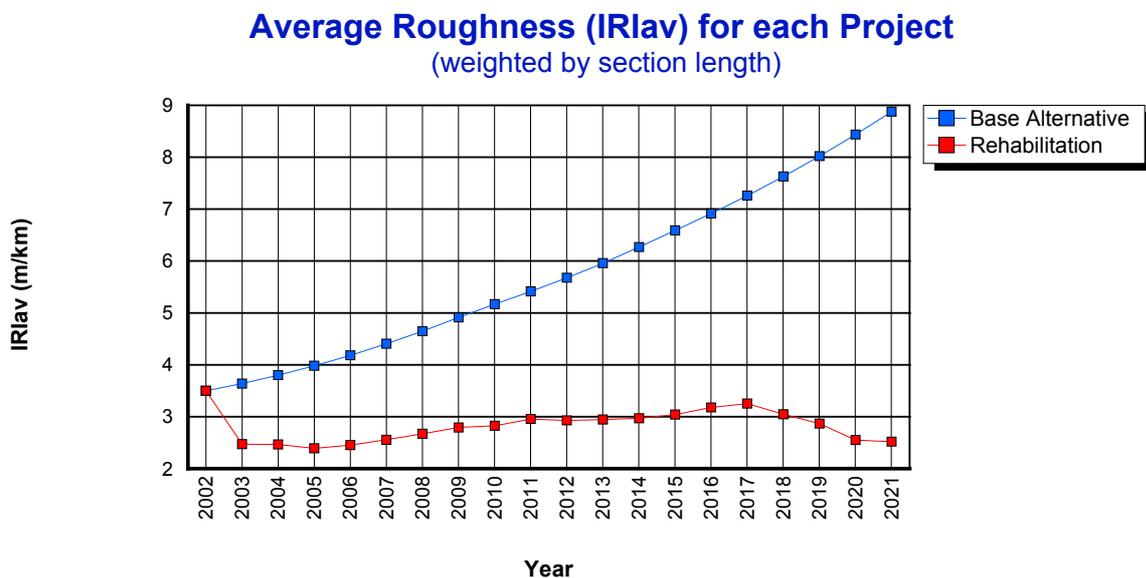


Figure 1– Rugosité moyenne pour projet - Groupe A (budget illimité)

La figure 2 indique les frais totaux afférents aux travaux de réfection par année, pour les tronçons de routes du groupe A .

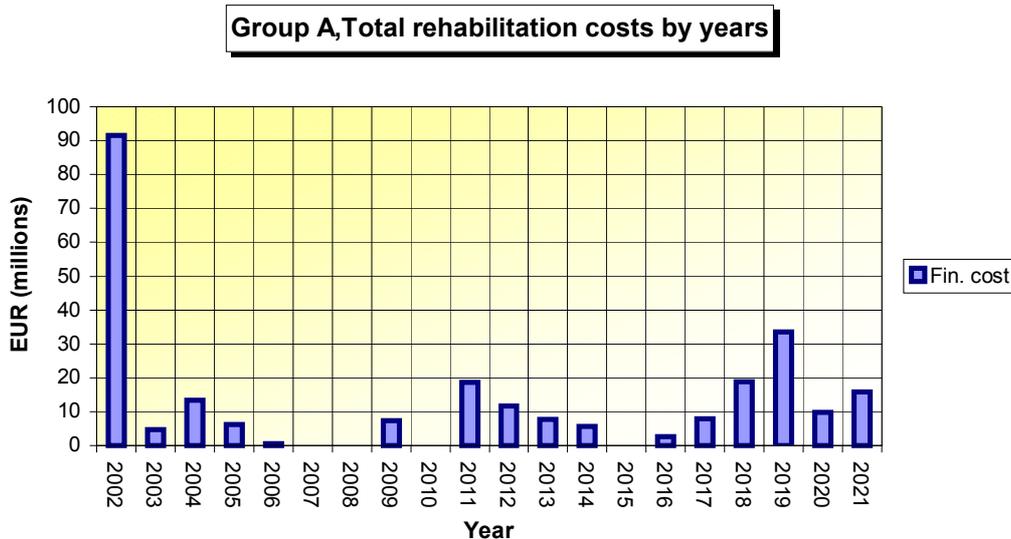


Figure 2 – Frais totaux de réfection par année - Groupe A (budget illimité)

## 8.2. Tronçons de route du groupe B (budget illimité)

Les tronçons de route du groupe B sont analysés en une longueur totale de 857,76 km. Quand il s'agit du budget illimité, ayant en vue les conditions et critères arrêtés pour l'application de certains standard d'entretien, on est arrivé aux conclusions suivantes:

- Pour la période de 20 ans au cours de laquelle on fera des analyses, les standards appliqués technico-économiques optimaux d'entretien sont économiquement justifiés, par le biais du modèle HDM-4, sur 86 tronçons totalisant une longueur de 857,76 km (100,0 % de la longueur considérée).
- Le taux moyen économique interne de remboursement des investissements (EIRR) par tronçon du groupe B s'élève à 65,4 %. Les valeurs obtenues pour EIRR varient entre 12,7 % et 130,2 %.
- La valeur totale actuelle nette (NPV) s'élève à 364,28 millions d'euros. La NPV moyenne par tronçon s'élève à 4,3 millions d'euros. Les valeurs obtenues de NPV par tronçon se situent entre 0 et 35,2 millions d'euros.
- L'état moyen des chaussées en 2021, exprimé par la rugosité des voies (IRI), pour les options de base (valeur minimum), coûtera : IRI = 9,8 m/km (voir la figure 3).
- L'état moyen des chaussées, exprimé par la rugosité des voies (IRI), pour les options de réfection (valeur minimum), coûtera : IRI = 2,6 m/km (voir la figure 3).
- Le coût total d'entretien pour les options de réfection est évalué à 139,1 millions d'euros.
- Au cours de la première année de la période faisant l'objet de l'analyse, le coût des travaux de réfection se monteront à 21,4 millions d'euros (15,4 % du coût total de réfection).

La figure 4 indique les frais totaux afférents aux travaux de réfection; par année, pour les tronçons de route du groupe B.

### Average Roughness (IRIav) for each Project (weighted by section length)

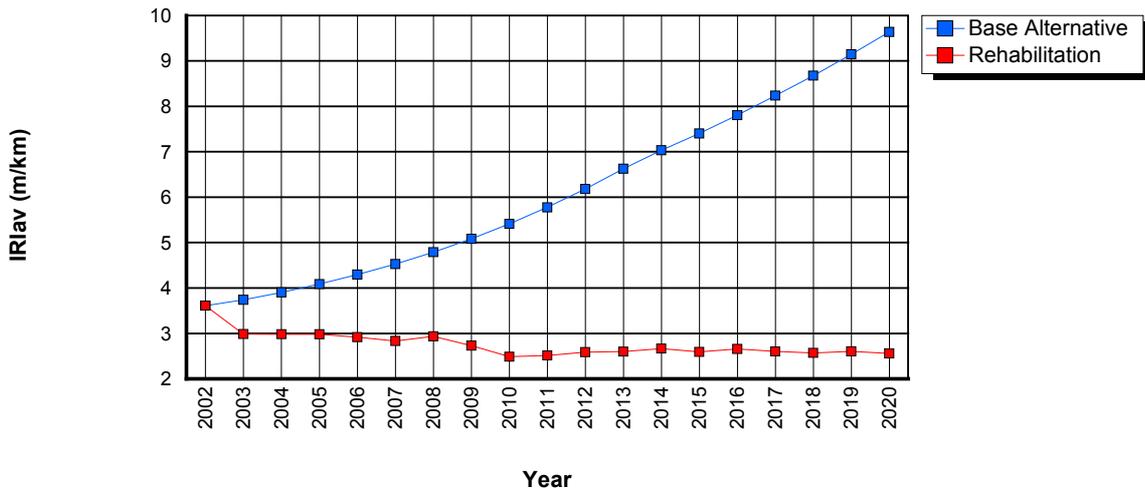


Figure 3 – Rugosité moyenne pour projet - Groupe B (budget illimité)

### Group B, Total rehabilitation costs by years

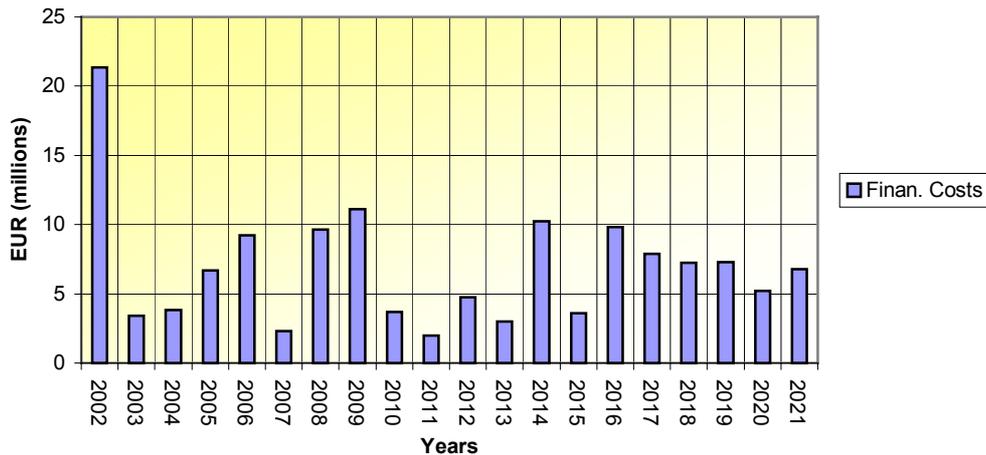


Figure 4 – Frais totaux de réfection par année - Groupe B (budget illimité)

### 8.3. Tronçons de route du groupe C (budget illimité)

Les tronçons de route du groupe C sont analysés en une longueur totale de 3.073,48 km. S'agissant du budget illimité et ayant en vue les conditions et critères arrêtés pour l'application de certains standard d'entretien, on est parvenu aux conclusions suivantes :

- Pour la période de 20 ans faisant l'objet de l'analyse, les standard appliqués technico-économiques optimums d'entretien paraissent être économiquement justifiés, par le biais du modèle HDM, sur 244 tronçons (totalisant 2661,47 km, soit 86,6 % de la longueur considérée).
- Le taux moyen économique interne de remboursement des investissements (EIRR) par tronçon du groupe C s'élève à 40,0%. Les valeurs obtenues pour EIRR se situent entre 12,3% et 112,2%.

- La valeur totale actuelle nette (NPV) s'élève à 1.082,08 millions d'euros. La NPV moyenne par tronçon se monte à 3,9 millions d'euros. Les valeurs obtenues pour NPV par tronçon varient entre 0 et 53.0 millions d'euros.
- L'état moyen des chaussées en 2021, exprimé par la rugosité des voies (IRI), pour les options de base (valeur minimum) sera : IRI = 11,8 m/km (voir la figure 5).
- L'état moyen des chaussées, exprimé par la rugosité des voies (IRI), pour les options de réfection (valeur minimum), sera : IRI = 2,9 m/km (voir la figure 5).
- Le coût total d'entretien pour les options de réparation est évalué à 468,7 millions d'euros.
- Pendant la première année de la période faisant l'objet de l'analyse, le coût des travaux de réfection s'élèvera à 164,5 millions d'euros (35,1% du coût total de réfection).

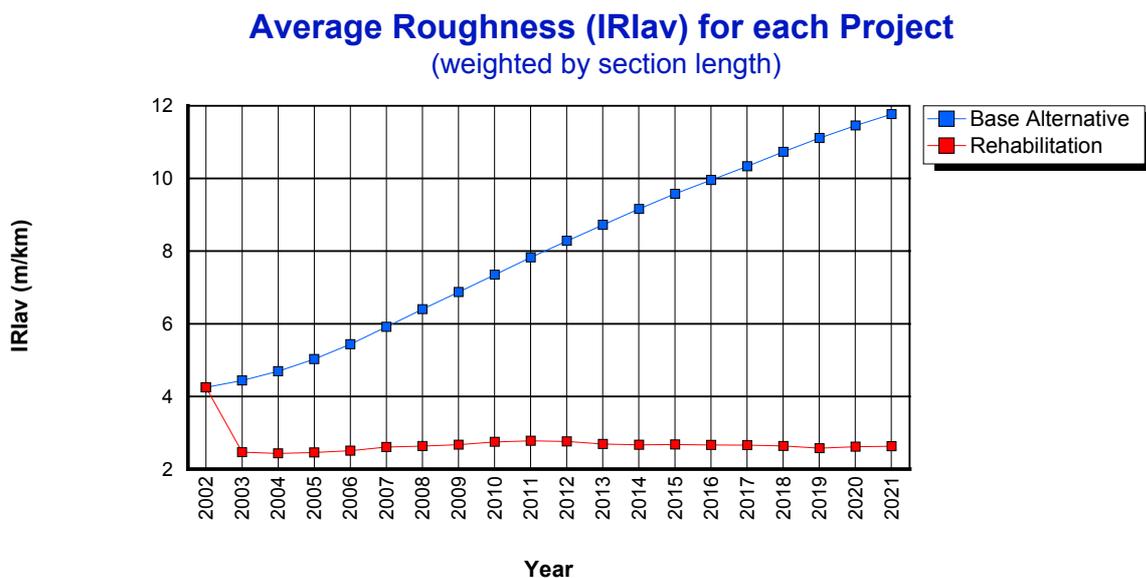


Figure 5 – Rugosité moyenne pour projet - Groupe C (budget illimité)

La figure 6 indique les frais totaux afférents aux travaux de réfection par année, pour les tronçons de route du groupe C.



Figure 6 – Frais tautaux de réfection par année - Groupe C (budget illimité)

## 9. ESTIMATIONS OPTIMALES DU BUDGET CONCERNANT LE GROUPE C

Dans les conditions du budget illimité, le planning des mesures optimales assure les activités les plus efficaces avec les charges minimales. Au cas où le réseau est énormément ruiné, un tel planning n'offre ni niveau du budget stable ni égalité de types d'interventions annuelles favorables pour la stabilité des conditions des maîtres d'oeuvre. C'est à l'aide du programme Modup qu'on a effectué une analyse brève pour déterminer le budget annuel. On a sollicité entre 30 et 70 millions d'Euros selon les critères divers des travaux de réparation prioritaires. Le meilleur niveau, avec espace minimal laissé à la fonction "backlog", s'élève au montant de 65 millions d'Euros dans les premières trois années. La valeur initiale de 30 millions d'Euros durant six années implique la situation mauvaise d'une grande partie des chaussées à la fin de la période d'analyse. Vu la différence pas si importante entre 60 et 70 Euros, on recommande d'assurer 60 millions Euros qui assureront la situation routière acceptable du groupe C dans la période de quatre années. (Figure 7)

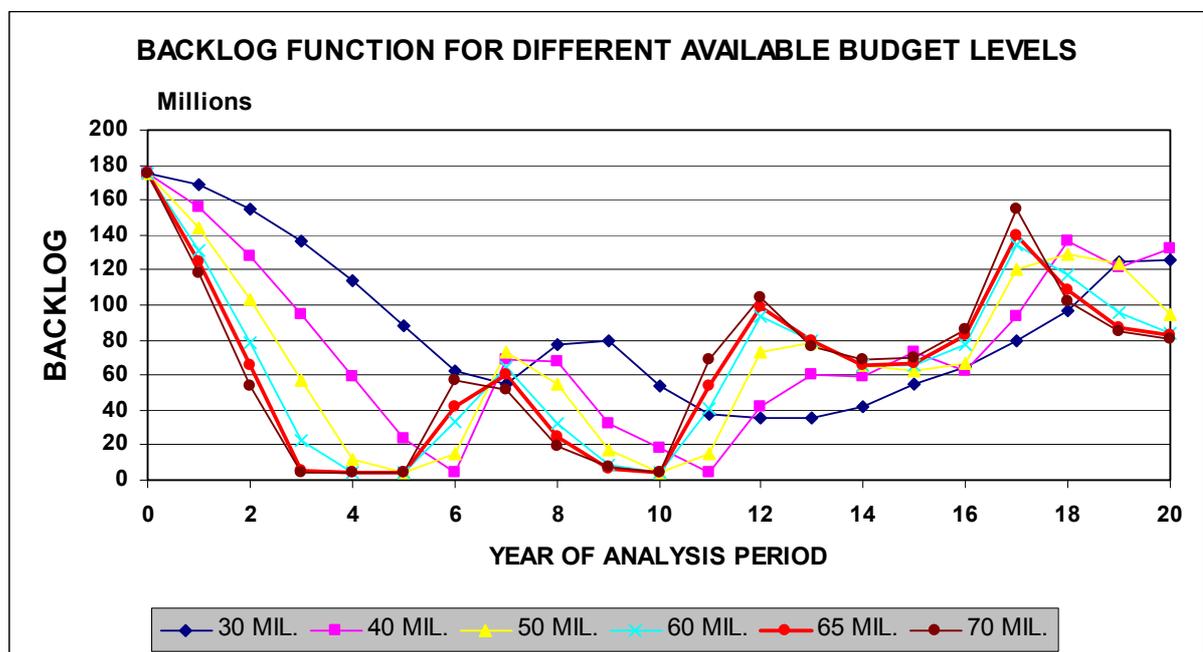


Figure 7 - Fonction "backlog" pour les niveaux différents du budget.

## 10. CONCLUSION

L'analyse de conservation des biens routiers et des besoins de réfection des chaussées comprend 4.511 km de principales routes nationales dans le réseau de la République de Serbie (Kosovo et Métohija non compris), selon le système de référence..

Un aperçu sommaire du programme économiquement justifié est donné au tableau 6.

Comme on peut le remarquer, tous les travaux urgents de réfection du réseau de routes nationales en République de Serbie, pendant la première année, sont évalués à 277,4 millions d'euros.

Tableau 6 – Un aperçu sommaire du programme économiquement justifié (budget illimité)

Groupe de tronçons de route	A	B	C
Catégorie de route	Autoroutes - Corridor X, Xb et partie Xc, E-70	Correspondances du Corridor X avec Corridor IV	Routes nationales, excepté groupes A et B
Nombre de tronçons	48	86	244
AADT [vpd]	1.024 – 21.430	958 – 17.980	184 – 18.587
Longueur totale des tronçons de route [km]	509,63	857,76	2661,47
% longueur considérée	87,9 %	100,0 %	86,6 %
EIRR moyen	36,5 %	65,4 %	40,0%
Coût du programme optimum de 20 ans	253 M euros	139 M euros	469 M euros
Coût de réfection en première année	91,5 M euros	21,4 M euros	164,5 M euros
Travaux urgents de réfection en première année, total			277,4 M EUROS

Il semble que l'état du réseau de routes nationales en République de Serbie soit critique, de sorte qu'il est indispensable de recourir à certaines interventions afin d'empêcher la détérioration croissante des voies.

Le besoin de poursuivre l'amélioration et la mise à jour de la base de données relatives aux routes est bien évident, afin d'avoir un meilleur support aux analyses technico-économiques.

S'agissant des catégories de base considérées par rapport à l'ampleur de la circulation et à l'état des voies (tableau 7), on a pu obtenir les valeurs suivantes de l' EIRR (taux économique interne de remboursement des investissements):

Tableau 7 – Étendue des valeurs obtenues de l'EIRR par rapport à la circulation et à l'état

État initial de la route	EIRR obtenu ( %) fondé sur les stratégies optimums d'entretien et de réfection (analyse faite pour la période de 20 ans)				
	AADT<1.000 vpd	1.000 to 3.000 vpd	3.000 to 7.000 vpd	7.000 to 12.000 vpd	>12.000 vpd
IRI ≤ 2,5 m/km	- <sup>(1)</sup>	-63,0 do 56,9%	2,6 do 85,6%	64,8 do 86,0%	33,2 do 85,4%
2,5 m/km < IRI ≤ 4,5 m/km	-67,7 do 14,1%	-16,3 do 78,2%	14,1 do 130,2%	19,0 do 120,5%	28,5 do 80,9%
4,5 m/km < IRI ≤ 6,0 m/km	-81,1 do 17,5%	7,3 do 51,1%	24,7 do 90,9%	31,8 do 56,1%	51,9 do 55,8%
IRI > 6,0 m/km	17,0 % <sup>(2)</sup>	16,4% <sup>(4)</sup>	59,4% <sup>(4)</sup>	- <sup>(3)</sup>	- <sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Ce cas n'a pas apparu dans le projet

<sup>2</sup> Un seul tronçon dans le projet

La figure 8 indique les valeurs obtenues pour EIRR, mesurées à la longueur, par rapport à l'ampleur de la circulation et à l'état des voies dans le réseau de principales routes nationales en Républiques de Serbie, ainsi que l'analyse des frais d'investissement.

<sup>1</sup> Ovaj slučaj se nije pojavio u Projektu

<sup>2</sup> Samo jedna deonica u Projektu

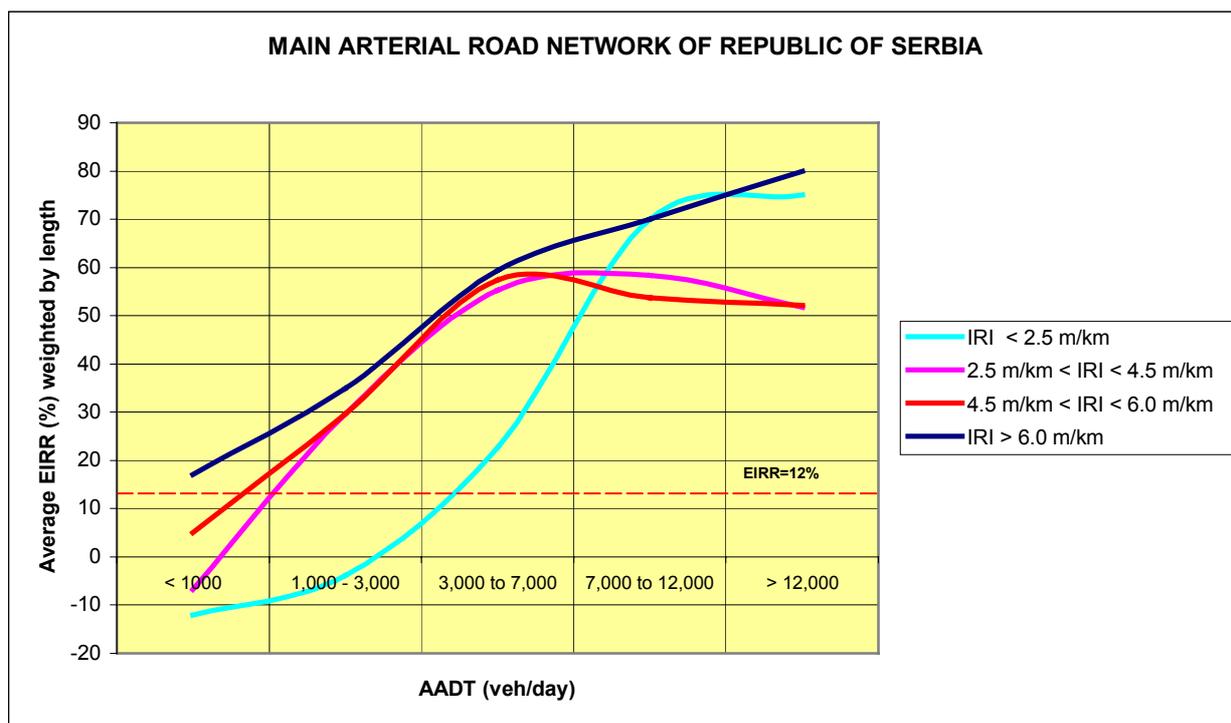


Figure 8 - EIRR moyen (%) pour le réseau de principales routes nationales en République de Serbie par rapport à l'ampleur de la circulation et à l'état des voies

## BIBLIOGRAPHIE

1. Christopher R. Bennet i William D.O. Paterson (2000), Uputstvo za kalibrisanje HDM-4 modela, *Knjiga br. 5*, Medjunarodna studija izgradnje auto-puta i sredstava za upravljanje (ISOHDM), Birmingham (Instructions de calibrage du modèle HDM, *Livre n° 5*, Étude internationale de la construction de l'auto-route et des fonds de gestion (ISOHDM), Birmingham )
2. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu (2002), Analiza karakteristika reprezentativnog tipa vozila na mreži magistralnih puteva u Republici Srbiji, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd (Faculté des transports, Université de Belgrade, 2002, Analyse des caractéristiques du type représentatif des véhicules dans le réseau de routes nationales en République de Serbie, Université de Belgrade, Belgrade)
3. Institut IMS, Beograd (1993), Studija korišćenja HDM-III modela za upravljanje i održavanje puteva u Republici Srbiji, Slučaj uzet za primer, putni pravci M-22 i M-1.12, Beograd (Étude de l'utilisation du modèle HDM-III de gestion et d'entretien des routes en République de Serbie, Cas pris en exemple, directions routières M-22 et M 1.12)
4. Mijuskovic, V., Tubic, V., Radovic, N. (2001), Studija ocene prioriteta za saobraćajnu infrastrukturu SR Jugoslavije - Koridor X i vezni putevi – Putna infrastruktura, Saobraćajni fakultet i Institut IMS, Beograd (Étude de l'évaluation des priorités dans l'infrastructure de la RF de Yougoslavie - Corridor X et voies d'accès - Infrastructure routière, Faculté des transports et Institut IMS)
5. Mijuskovic, V., Tubic, V., Radovic, N., Joksimovic V. (2002), Ocena prioriteta najhitnijih potrebnih intervecija na mreži magistralnih puteva, Saobraćajni fakultet i Republika Srbija, Republička direkcija za puteve, Beograd (Évaluation des interventions prioritaires les plus urgentes dans le réseau de routes nationales,

Faculté des transports et République de Serbie, Direction des ponts et chaussées de la République, Belgrade)

6. Radojkovic, Z. Radovic, N. (2002), Ocena koloseka i program sanacije u Republici Srbiji, *Upravljanje putevima*, III Kongres IRF za jugoistočnu Evropu, 30 septembar - 2 oktobar 2002, Beograd (Appréciation des voies et programme de réfection en République de Serbie, *Gestion des routes*, 3<sup>ème</sup> Congrès IRF pour l'Europe du Sud-Est)
7. Radovic, N. Mijuskovic, V. (2002), Analiza potreba sanacije koloseka na mreži magistralnih puteva u Republici Srbiji, *Upravljanje putevima*, III Kongres IRF za jugoistočnu Evropu, 30 septembar - 2 oktobar 2002, Beograd (Analyse des besoins de réfection des voies dans le réseau de routes nationales en République de Serbie, *Gestion des routes*, 3<sup>ème</sup> Congrès IRF pour l'Europe du Sud-Est)