

DEVELOPMENT OF PAVEMENT DEVELOPMENT OF PAVEMENT PREDICTION PERFORMANCE MODEL IN THE OF REPUBLIC OF SERBIA

N.RADOVIC

Road Directorate of the Republic of Serbia, Serbia and Montenegro
radovicn@drenik.net

Đ. UZELAC

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Serbia and Montenegro
diuzelac@EUnet.yu

ABRÉGÉ

La recherche du modèle de changement d'état de chaussées sur le réseau routier de la République de Serbie consiste dans le choix de tronçons représentatifs, selon les paramètres de la structure des chaussées, leur ancienneté, et selon les caractéristiques de l'intensité du trafic. A partir des types et des mécanismes d'endommagement de chaussées, ainsi que des facteurs qui influent sur leur apparition et leur évolution, on a choisi 24 tronçons d'essai sur le réseau routier national de la République de Serbie et on a défini le plan et le programme de recherches périodiques expérimentales sur les tronçons d'essai en vue de collecter les données nécessaires à déterminer les lois régissant les changements d'état de chaussées dans le réseau routier de la République de Serbie. Ayant en vue le but et la fin définitifs de ces recherches, une attention particulière est accordée au calibrage de modèles de changement d'état de chaussées, contenu à l'intérieur du modèle HMD-4. Le modèle de départ de changement de chaussées dans le cadre du modèle HDM-4 est déterminé sur la base des données relatives à l'état de chaussées au cours des années précédentes et des analyses de la sensibilité des résultats.

KEY WORDS

PAVEMENT / MAINTENANCE / PREDICTION PERFORMANCE MODEL / CALIBRATION

1. MÉTHODES DE RECHERCHES SUR LES TRONÇONS EXPÉRIMENTAUX

La mode et les procédés de formulation des modèles de changement d'état dans les systèmes de gestion dépendent des buts du système et de la nature de modèles qu'on désire définir. Dans la phase de formation du système de gestion, la principale approche de la formulation de modèles suppose l'analyse des modèles existants et la détermination des possibilités de leur application directe, ensuite la définition de ses propres modèles, le plus souvent en interprétant les résultats des recherches expérimentales.

Les expériences acquises jusqu'à présent indiquent que les réseaux routiers en exploitation servent souvent de tronçons expérimentaux pour étudier les structures de chaussées. A ce propos, deux approches ont été utilisées:

- ◆ recherches pratiquées sur les tronçons individuels de routes et
- ◆ recherches pratiquées sur les échantillons de réseaux routiers.

Le premier procédé comprend le choix de tronçons déterminés et représentatifs des routes dans le réseau routier dont l'état est suivi systématiquement selon certains indicateurs depuis leur construction. L'avantage de ces procédés consistent en enregistrement de tous les facteurs réels influant sur les changements d'état tels que : la circulation, le climat, l'ancienneté, l'entretien, etc., tandis que le désavantage réside à une période très longue nécessaire à formuler les conclusions et à définir les modèles de changement d'état de chaussées.

Les contrôles des échantillons de réseaux routiers consistent en choix de tronçons représentatifs selon les paramètres de leur structure, leur ancienneté et les caractéristiques relatives à la fréquence du trafic.

A la différence des recherches liées aux échantillons de réseaux routiers, celles qui se font aux chaussées expérimentales résident dans le suivi des changements d'état des structures de chaussée construites sur les polygones spéciaux, sous l'influence des circonstances climatiques données, avec des charges de circulation simulées et entièrement contrôlées. Dans la réduction du temps d'essais se trouvent tous les désavantages de mise à profit de ces procédés car, avec cette diminution de durée, on perd de vue, dans le contrôle, l'influence du temps réel en tant que facteur essentiel d'évolution du processus de changement d'un indicateur observé. Le problème est également la connaissance du temps de relaxation entre deux charges successives, laquelle, dans les expériences avec une circulation accélérée, ne peut être réalisée. Ces essais, outre quelques autres défauts (un seul type de charge de circulation, etc.), sont encore très chers.

2. CHOIX DE TRONÇONS D'ESSAI DANS LE RÉSEAU ROUTIER DE LA RÉPUBLIQUE DE SERBIE

Les tronçons d'essai représentent le réseau routier de la République de Serbie selon le type de chaussées, les caractéristiques de matériaux utilisés dans la réalisation de chaussées, les charges de circulation moyennes et cumulées et les caractéristiques climatiques de certaines zones de la République de Serbie.

Les tronçons d'essai sont sélectionnés en raison des examens périodiques ou des observations qui seront effectuées deux fois par an au cours d'une période de dix ans à venir. Les résultats des examens effectués durant les premiers cinq ans conduiront à la proposition d'un modèle d'usure de chaussées. Ceci constitue un échantillon statistique minimum pour l'analyse des résultats obtenus (période de cinq ans durant laquelle on observera deux fois par an les tronçons d'essai choisis). La période comprenant les cinq ans suivants est prévue pour vérifier les modèles proposés de modification de certains types d'endommagement de chaussées, et on continuera à suivre périodiquement les changements d'état de chaussées.

Dans le réseau routier national de la République de Serbie on a choisi 24 tronçons d'essai qui satisfont aux critères préalablement déterminés. La base du choix sus-mentionné de tronçons d'essai étaient les cartes météorologiques de l'Institut hydro-météorologique de la République de Serbie (cartes de précipitations moyennes et de profondeurs de pénétration du gel) et les bases de données relatives aux voies et à la circulation, ainsi que les archives vidéo du réseau routier de la République de Serbie (Ministère des transports et des communications - Direction des ponts et chaussées de la République,

Institut IMS, Institut des chaussées). Sur ces 24 tronçons on effectuera des prospections conformément au programme adopté.

Après la fin des prospections de terrain, on procédera à l'élimination des tronçons d'essai qui ne répondent pas aux exigences posées et on arrivera au nombre définitif de tronçons d'essai. Le nombre définitif de tronçons d'essai fera l'objet des contrôles périodiques, soit deux fois par an (au printemps et à l'automne), selon un plan et une méthodologie rigoureusement établis.

Les données recueillies seront consignées dans une base de données spécialement conçue et portant sur les contrôles de chaussées aux tronçons d'essai, base qui permettra une analyse statistique des données au cours des périodes déterminées.

Pour le choix de tronçons d'essai il est indispensable de disposer de données fiables. C'est pourquoi il est nécessaire de définir, avant ce choix, les paramètres et les critères d'identification des tronçons à partir desquels la matrice des tronçons d'essai est formée.

2.1. Paramètres de choix de tronçons d'essai

Ayant en vue les difficultés escomptées dans l'identification de tronçons d'essai correspondants, on a choisi les paramètres (Tableau 1) qu'il est aisé d'identifier sur le terrain et pour lesquels il est possible d'obtenir les données nécessaires.

Tableau 1 - Paramètres de choix de tronçons d'essai

1.	TYPE DE STRUCTURE DE CHAUSSÉE	Structure de chaussée originale	AB sur BNS
			AB sur CS
		Renforcement de la chaussée	AB sur AB
			AB sur BNS
		BNS sur BNS	
2.	CHARGE DE CIRCULATION	Moyenne	PGDS < 1500 véhicules/jour
		Importante	PGDS > 1500 véhicules/jour
3.	PRÉCIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES	Faibles (climat sec)	PGP < 800 mm/an
		Importantes (climat humide)	PGP > 800 mm/an
4.	ETAT DE CHAUSSÉES	Bon	< 10% superficies englobées
		Moyen/mauvais	> 10% superficies non englobées
5.	PROFONDEUR DE PÉNÉTRATION DU GEL	Faible	< 50 cm
		Importante	> 50 cm
6.	ANCIENNETÉ DE LA CHAUSSÉE	Récente	< 5 ans
		Ancienne	> 5 ans
7.	NIVEAU D'ENTRETIEN DE LA CHAUSSÉE	Régulier	Entretien régulier de la chaussée chaque année
		Intensifiée	Entretien régulier chaque année + entretien intensifié de la chaussée
		Inexistant	

Tableau 2 - Choisi 24 tronçons d'essai qui satisfont aux critères préalablement déterminés

CIRCULATION ⁽¹⁾	<i>Moyenne/Intense</i>			
PROFONDEUR MOYENNE DE CONGÉLATION DU SOL ⁽²⁾	<i>Faible/Importante</i>			
PRÉCIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES	<800 mm/an		> 800 mm/an	
ETAT DE LA CHAUSSÉE	<i>Bon</i>	<i>Moyen/mauv.</i>	<i>Bon</i>	<i>Moyen/mauvais</i>
<i>Structure de chaussée originale</i>	2	2	2	2
<i>Renforcement de la chaussée ancienne jusqu'à 5 ans</i>	2	2	2	2
<i>Renforcement de la chaussée ancienne plus de 5 ans</i>	2	2	2	2
TOTAL ($\Sigma=24$)	6	6	6	6

¹ Etant donné que les tronçons d'essai se trouvent sur les routes nationales et régionales de la République de Serbie (PDGS >1000 véhicules/jour), le trafic ne se divise pas en deux sous-groupes.

² La profondeur moyenne de congélation du sol en République de Serbie étant supérieure à 50 cm, ce paramètre se divise en deux sous-groupes.

La figure n° 1 indique la carte de synthèse des voies, des charges de circulation en 1990 et des précipitations annuelles moyennes. A l'aide de cette carte de synthèse on a effectué le choix de 24 tronçons d'essai exigés en vue d'établir les données suivant tous les paramètres exigés.

La localisation plus précise des tronçons d'essai est déterminée à partir de l'examen des archives vidéo de réseaux routiers nationaux et régionaux de la République de Serbie, conformément au système de référence, tout en respectant les critères imposés relatifs à l'identification des tronçons d'essai.

2.2. Critères d'identification des tronçons d'essai sur le terrain

Lors de l'identification d'un tronçon d'essai sur le terrain, on a observé les critères suivants:

- 1). Les tronçons d'essai d'une route nationale doivent s'étendre sur une longueur de 1 km
- 2). Les chaussées des tronçons d'essai doivent être flexibles.
- 3). Le tronçon d'essai doit suivre la direction tant dans le plan horizontal que vertical.
- 4). Le tronçon d'essai ne doit pas être situé à proximité des carrefours ou d'autres voies d'accès.
- 5). Les tronçons d'essai ne doivent pas être situés dans des régions urbaines ou suburbaines.
- 6). Les tronçons situés aux défilés sont à éviter.
- 7). Il est indispensable de disposer des données historiques concernant un tronçon d'essai.
- 8). Les tronçons d'essai doivent être uniformes longitudinalement et transversalement.
- 9). Les tronçons d'essai sont choisis avec leurs diverses charges de circulation.
- 10). Il est souhaitable que les tronçons d'essai soient situés aux terrains plats, avec une inclinaison maximum de 4 % .

3.3.2. Données historiques d'un tronçon d'essai

- année de construction et spécifications,
- année de renforcement de la chaussée et spécifications,
- année de dernière réfection de la couche d'usure,
- état d'une chaussée avant son renforcement ou la réfection de la couche d'usure,
- données géologiques relatives au terrain,
- données relatives au comptage de la circulation durant les 5 dernières années,
- données relatives aux précipitations mensuelles au cours des 3-4 dernières années,
- mesures techniques d'entretien appliquées au tronçon d'essai, quantitativement et qualitativement, conformément aux standard et normes d'entretien.

3.4. Matrice des tronçons d'essai

En partant des paramètres et critères déterminés et des données recueillies préalablement, on a choisi 24 tronçons d'essai dans le réseau routier de la République de Serbie. Pour chacun des tronçons on a réuni et systématisé les données sur la base des supports existants et des enquêtes faites auprès des entreprises des ponts et chaussées

Pour chacun des tronçons d'essai les données sont recueillies et réparties en classes suivantes (Fig. 2):

1. DONNÉES DE RÉFÉRENCE
2. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES
3. STRUCTURE DE CHAUSSÉE
4. TRAFIC
5. ÉTAT DE LA CHAUSSÉE
6. HISTORIQUE
7. ARCHIVES VIDÉO

A partir des supports mentionnés préalablement, on a élaboré la liste des candidats aux tronçons d'essai (Tableau 3):

Tableau 2 - Liste d'inventaire des tronçons d'essai


DON- NÉE DE RÉF.	DÉSIGNATION DE LA ROUTE		M-18		TRONÇON D'ESSAI		04	
	TRONÇONS ID		2081		Départ (km)		Fin (km)	
					20.100	149+759	21.100	150+759
	NŒUD DE DÉPART		2070		BAČ			
	NŒUD FINAL		2037		BAČKA PALANKA 1 (BAČ)			
ENTREPR. DES PONTS ET CHAUSSEES		D.D. "VOJVODINAPUT-BAČKAPUT" NOVI SAD						
DONNÉES MÉTÉOR.	STATION GÉOGRAPHIQUE ET MÉTÉOROLOGIQUE					NOVI SAD		
	ALTITUDE DE LA STATION					75m		
	NIVEAU ANNUEL MOYEN DE PRÉCIPITATIONS					650 /700mm/an		
	HAUTEUR MOYENNE ANUELLE DE LA COUCHE DE NEIGE					20 / 40 cm		
	TEMPÉRATURE ANUELLE MOYENNE MAXIMUM					22 /24 °C		
	TEMPÉRATURE ANNUELLE MOYENNE MINIMUM					0 /-2 °C		
	PROFONDEUR MOYENNE ANNUELLE MAXIMUM DE CONGÉLATION DU SOL					70 / 90cm		
CHAUSSEE	RENFORCEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE				Épaisseur		Type	
					-		-	
	CHAUSSEE ORIGINALE				30mm		AB	
	COUCHES PORTANTES				300 mm		Granularni	
	LIT	CBR			3%		CL	
		COMPACITE			95%			
	ÉPAISSEUR TOTALE DE LA CHAUSSEE / ÉPAISSEUR TOTALE DES COUCHES D'ASPHALTE				30mm/330mm			
CAPACITE DE CHARGE DE LA CHAUSSEE (Benkelman)				Date de mesure	Déflexion Rep.		SNC	
				-	-		1.688	
CIRCULATION	COMPTEUR AUTOMATIQUE DE LA CIRCULATION			Nombre ID		Désignation du compteur		Type
				0211		BAČ		SBH
	NOMBRE DE VEHICULES EN 1990	PA	BUS	LT	ST	TT+AV	PGDS	
1072		50	246	336	433	2233		
ÉTAT DE LA CHAUSSEE	PANÉTÉ DE LA SURFACE DE LA CHAUSSEE (IRI)				Mesure		Date de mesure	
					4.060		1994g.	
	TOUTES LES FISSURES				9%		1994g.	
	FISSURES LARGES (> 3mm)				7%			
	TROUS DE CHOC				4%			
	ARRACHAGE				5%			
	RÉPARATIONS				3%			
ORNIÈRES				Valeur moyenne	Écart standard		Date de mesure	
				30mm	20mm		1990	
HISTORIQUE	CONSTRUCTION				Année		Activité	
					1964			
	RENFORCEMENT				-			
ENTRETIEN				-		Entretien régulier		
ARCHIVES VIDÉO	REMARQUE:							
	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Précipit: annuelles moyennes:</u> < 800 mm/an • <u>État de la chaussée :</u> Bon (< 10 %) • <u>Structure de chaussée:</u> Originale, sans renforcement 							
								

Tableau 4 - Liste des candidats aux tronçons d'essai:

N° d'ordre	Désignation de la route	Code d'identification du tronçon	Départ du tronçon	Fin du tronçon	Stationnement au départ du tronçon	Stationnement à la fin du tronçon	Numéro ID du tronçon d'essai
1	M-3	2039	23.040	24.040	533+974	534+974	T-01
2	M-17.1	2076	16.700	17.700	108+920	109+920	T-02
3	M-3	2054	20.100	21.100	149+759	150+759	T-03
4	M-18	2081	4.700	5.700	81+915	82+915	T-04
5	M-24	2139	11.600	12.600	190+706	191+706	T-05
6	M-7.1	2066	11.200	12.200	78+221	79+221	T-06
7	M-19	0169	13.200	14.200	102+668	103+668	T-07
8	M-22	0228	4.150	5.150	236.876	237+976	T-08
9	M-1.11	0048	8.400	9.400	8+985	9+985	T-09
10	M-5	0119	9.300	10.300	717.074	718+074	T-10
11	M-25	0321	1.600	2.600	267+876	268+876	T-11
12	M-5	1403	4.000	5.000	821+000	822+000	T-12
13	M-21	0197	0.270	1.270	236+519	237+519	T-13
14	M-21.1	0211	7.350	8.350	51.090	52.090	T-14
15	M-4	0075	1.560	2.560	575+418	576+418	T-15
16	M-21	0190	13.500	14.500	171.599	172+599	T-16
17	M-22	0241	11.400	12.400	338+399	339+399	T-17
18	M-19.1	0174	10.250	11.250	55.879	56.879	T-18
19	M-8	0133	3.000	4.000	3+000	4+000	T-19
20	M-25.1	0325	1.540	2.540	50+310	51+310	T-20
21	M-1.13	0062	1.400	2.400	30+156	31+156	T-21
22	M-2	0065	4+040	5+040	1176+102	1177+102	T-22
23	M-24	0285	15.200	16.200	387+520	388+520	T-23
24	M-1.12	0056	6.400	85+751	7.400	86+751	T-24

3.5. Données détaillées à réunir sur le terrain pour identification finale des tronçons d'essai

Aux fins d'identification des tronçons il est nécessaire de recueillir, aux tronçons d'essai préalablement choisis, les données complémentaires suivantes relatives à l'état de la surface de chaussée, à l'aspérité de la surface de chaussée, à la déflexion de la chaussée et à sa structure .

En s'appuyant sur les échantillons prélevés dans les fosses de sondage, on déterminera et on réunira les données suivantes :

- Couches bitumineuses: Épaisseur des couches bitumineuses, évaluation qualitative de la densité d'une couche et adhésion de cette dernière à la couche inférieure. Par voie d'expérimentation de laboratoire, déterminer le pourcentage de bitume et la composition granulométrique du mélange .
- ♦ GNS granulaire : Épaisseur de la couche, évaluation qualitative et quantitative de compacité, qualité de matériaux incorporés, qualité et quantité de matériaux de remplissage.
- DNS granulaire : Épaisseur des couches, évaluation qualitative des matériaux et compacité de la couche.
- Lit : Par le biais des examens de laboratoire il faut déterminer :
 - composition granulométrique,
 - limites d'Aterberg de consistance (limite d'écoulement, limite de plasticité),
 - compacité selon Proctor et teneur optimum en humidité,
 - CBR (de terrain et de laboratoire)
- Remblai : Poids spécifique en état naturel et humidité naturelle des matériaux incorporés au remblai.

En partant des examens complémentaires détaillés mentionnés ci-devant, entre les tronçons préalablement choisis on déterminera le nombre définitif de tronçons d'essai qui feront l'objet des recherches périodiques de la structure de chaussée. .

3. PLAN ET PROGRAMME DE SUIVI DES MODIFICATIONS D'ÉTAT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSÉE SUR LES TRONÇONS D'ESSAI

Le suivi de l'état de chaussée est planifié avec des mesurages semestriels, en avril/mai et en octobre/novembre de chaque année, durant une période de cinq années. Les observations périodiques (mesures) couvriront le recueil de données suivantes:

- 1). Endommagement de la surface de chaussée
- 2). Planéité de la surface de chaussée
- 3). Déflexion de la chaussée sous charge, mesurée à l'aide de la poutre de *Benkelman* (JUS U.E8.016 i JUS U.E8.018)
- 4). Résistance au glissement de la surface de chaussée (JUS U.C.4.018)
- 5). Modifications dans le profil transversal de la chaussée (ornières) (JUS U.E.4.014.)
- 6). Humidité des matériaux dans le lit (JUS U.B1.010 i 012)
- 7). Profondeur de pénétration du gel dans la structure de la chaussée (JUS U.B9.010 i JUS U.B9.012)

8). Comptage de la circulation selon les types de véhicules

9). Mesure des charges axiales

4.1. Endommagements de la surface de chaussées

Chacun des tronçons d'essai est divisé en segments longs de 50 m. Les surfaces des chaussées touchées par une espèce déterminée d'endommagement, chacune individuellement dans le cadre d'un segment, sont marquées à la craie, en forme de surfaces rectangulaires, et elles sont mesurées au moyen d'un ruban de mesure. En cas de fissures longitudinales ou transversales individuelles, la surface est calculée comme une longueur effective $\times 0.5$ m.

La profondeur d'une ornière est mesurée dans toutes les positions de mesure de la déflexion marquée de façon durable à la craie jaune, et ce à l'aide d'une latte et d'une colonnette de mesure, dans les traces de roues gauche et droite sur chacune des voies de circulation .

Dans les formulaires de recueil des données relatives à l'endommagement des surfaces de chaussée, en plus de la longueur et de la largeur de chaque surface touchée par un type donné d'endommagement, on fait également figurer les données relatives à l'intensité et à la fréquence d'endommagement.

Les endommagements de chaussées apparaissent sous diverses formes, tels que la destruction de chaussées, les fissures ou les désintégrations de la surface de chaussée. Chacune de ces formes d'endommagement de chaussée peut apparaître de l'une des diverses façons caractéristiques, appelée type d'endommagement de chaussée.

Les divers types d'endommagement de chaussée, pour les besoins du recueil de données relatives aux endommagements de chaussée aux tronçons d'essai, sont classés en deux principaux groupes d'endommagement de chaussée :

- Endommagements de la surface de chaussée
- Endommagements structurels de chaussée

Les endommagements de la surface de chaussée sont ceux qui se situent dans les couches superficielles de la chaussée et ils se produisent en général en raison des défauts de construction de la chaussée ou à cause de la mauvaise qualité des matériaux incorporés aux couches supérieures de la chaussée. A ce groupe d'endommagements appartiennent les fissures (intervenues en raison de la fatigue du matériel dans le revêtement de chaussée), les déformations de la chaussée (ornières et plis sans apparition de fissures, en général seule une déformation plastique du revêtement de chaussée) et autres défauts de la surface de chaussée (rupture, glissement, sortie du bitume à la surface de la chaussée).

Les endommagements structurels de la chaussée ont trait à ceux qui indiquent la perturbation de la structure même, à savoir la capacité de charge menacée de la structure de chaussée. Ils se produisent en tant que seconde phase d'évolution des endommagements superficiels de la chaussée, due à la croissance des charges de circulation et à l'action des facteurs climatiques, ainsi qu'à cause de l'absence de mesures opportunes de réparation de la chaussée. Ces endommagements sont souvent interprétés à partir des mesures de la déflexion, en vue d'en tirer une conclusion juste en ce qui concerne la capacité de charge menacée ou insuffisante de la chaussée. A ce groupe

d'endommagements appartiennent les fissures assez importantes accompagnées de dénivellation de la chaussée, les déformations considérables de la chaussée, autres défauts notables de la surface de chaussée et la perturbation du profil longitudinal et/ou transversal de la chaussée.

Outre ces deux groupes de dégradation de la chaussée, on contrôle souvent les réparations de la chaussée qui témoignent des points mal réparés. Pour les besoins du recueil de données concernant la dégradation de la surface de chaussée, sur les tronçons d'essai on n'enregistre que les réparations réussies de chaussées, sinon elles sont traitées comme des endommagements caractéristiques, suivant une des classifications d'endommagements de chaussée.

Les types et les descriptions caractéristiques de certaines détériorations de chaussée sont définis par l'instruction (catalogue d'endommagements) prévue pour la classification et l'évaluation des dégradations de chaussées..

4.2. Inégalité de la surface de chaussée

Cet indicateur concerne la platitude longitudinale de la surface de chaussée. On mesurera le paramètre "Indice d'inégalité" (m/km), avec le dispositif "*Bump Integrator*", suivant les traces de roues gauches et droite sur chacune des voies de circulation .

La mesure et le traitement de données se feront selon les instructions du constructeur du dispositif, avec une fréquence déterminée (deux fois par an) au cours d'une période d'observation.

4.3. Déflexions des chaussées

La mesure de la capacité de la structure de chaussée sera faite au moyen de la poutre de *Benkelman*.

La mesure de déflexions à l'aide de la poutre de *Benkelman* sera faite en conformité avec les standard yougoslaves en vigueur JUS E.8.016. i JUS U.E8.018 .

Le choix des lieux où ces recherches seront effectuées dépend de la construction de chaussée, de la largeur de cette dernière et de l'inclinaison (longitudinale et transversale) de la route. Étant donné que les sollicitations maxima dans le revêtement de chaussée sont subies aux côtés latéraux de la chaussée, en général 0.60 à 0.80 m des bords, les recherches seront faites à ces distances-là par rapport des bords de la chaussée (souhaitable à 0.80 m).

4.4. Résistance au glissement de la surface de chaussée

On mesurera les paramètres suivants :

- Résistance au glissement sur la surface de chaussée mouillée;
- Profondeur de la macrotexture.

Le dispositif SKID RESISTANCE TESTER (dans le texte: pendule SRT) sert à mesurer la résistance au glissement d'une surface mouillée de la couche d'usure des chaussées asphaltées ou bétonnées.

La résistance au glissement sera mesurée à l'aide du pendule SRT, dans les traces de roues de chaque voie de circulation, et sera exprimée en valeur SRT, en tout selon le standard yougoslave JUS U.C.4.018.

Les sections de mesure et les points de recherche seront déterminés en fonction de l'objectif de la recherche, avant tout aux lieux où une haute résistance au glissement est exigée, ou bien aux "points noirs" (aux virages, devant les carrefours, les sémaphores, etc).

La profondeur moyenne de la macrotecture "DT" (mm) sera mesurée en application de la méthode de sablage à tous les endroits où la résistance au glissement est à mesurer, en tout selon le standard yougoslave en vigueur JUS U.C.4.018.

Les mesures seront faites avec une fréquence déterminée (deux fois par an) aux mêmes endroits (qui seront marqués de façon durable sur le terrain), au cours de la période d'observation.

4.5. Modifications du profil transversal de la chaussée

Les irrégularités du profil transversal de la chaussée sont mesurées à l'aide de la latte longue de 4 m et avec la clavette de mesurage. A la paroi inférieure de la latte il y a une plaque d'acier pour éviter toute flexion. Les mesures sont pratiquées conformément au standard yougoslave JUS U.E.4.014.

La latte est posée au point marqué de façon durable de mesure du profil (clavette ou cheville) qui se trouve sur l'accotement. La latte est à placer en direction de la partie centrale de la chaussée et la mesure de la distance entre la latte, la surface de chaussée étant mesurée à tous les 10 cm. Les mesures faites de cette façon sont effectuées à chacun des profils, sur une longueur de 25 m.

4.6. Humidité des matériaux dans le lit

L'humidité des matériaux dans le lit doit être déterminée deux fois par an, conformément aux standards yougoslaves JUS U.B1.010 et JUS U.B1.012. Il est recommandé de prélever les échantillons aux profils où les fosses de sondage ont déjà été creusées.

4.7. Profondeur de pénétration du gel

La profondeur de pénétration du gel dans la structure de chaussée est à suivre en permanence, selon le standard yougoslave en vigueur (JUS U.B9.010 et JUS U.B9.012), à l'aide de "Wybo" pour mesure de la profondeur de pénétration du gel.

4.8. Comptage de la circulation selon les types de véhicules

Les tronçons d'essai sont choisis en fonction de leur proximité par rapport aux compteurs automatiques existants de circulation, implantés au réseau routier de la République de Serbie. Là où le compteur automatique n'est pas à proximité du tronçon d'essai, on procédera à l'interpolation des données ou au comptage manuel du trafic selon les types de véhicules. Le comptage manuel de la circulation est appliqué par voie d'échantillon occasionnel; au cours de sept jours représentatifs au printemps et à l'automne.

4.9. Mesure des charges axiales

Aux tronçons d'essai il faut appliquer les mesures des charges axiales. Pour cette espèce de mesure, le plus commode est l'emploi de plaques portables de mesure des charges

sous les roues d'un véhicule. L'équipement se compose d'une plate-forme de mesure dimensionnée 50 cm x 70 cm, d'une capacité de mesure de 10,000 kg.

La mesure des charges axiales se fait par échantillon occasionnel au cours de sept jours représentatifs au printemps et à l'automne.

5. MODÈLE INITIAL DE CHANGEMENT D'ÉTAT DE LA CHAUSSÉE

Le modèle initial d'intervention et d'évolution de l'endommagement de la chaussée est établi pour chacun des types d'endommagement de la chaussée, sur la base des données historiques concernant les endommagements de chaussée, obtenues à partir des examens de l'état de chaussées effectués en période de 1991 à 1998 pour les besoins de la Base de données relatives aux routes (BPP) de la Direction des ponts et chaussées de la République (Institut des ponts et chaussées S.A. Belgrade et IMS S.A. Belgrade).

Le calibrage du modèle est effectué par l'analyse de la sensibilité des résultats pour les divers facteurs influents de chacun des modèles de changement d'état de la chaussée (tout type d'endommagement).

De cette façon, à la base de données relatives aux routes se trouvent au moins deux valeurs mesurées aux intervalles différents.

Pour l'interpolation de résultats on a utilisé la courbe exponentielle.

La figure n° 2 donne un exemple de calibrage du changement d'inégalité de la surface de chaussée dans le temps, basé sur les données historiques prises à la Base de données relatives aux routes.

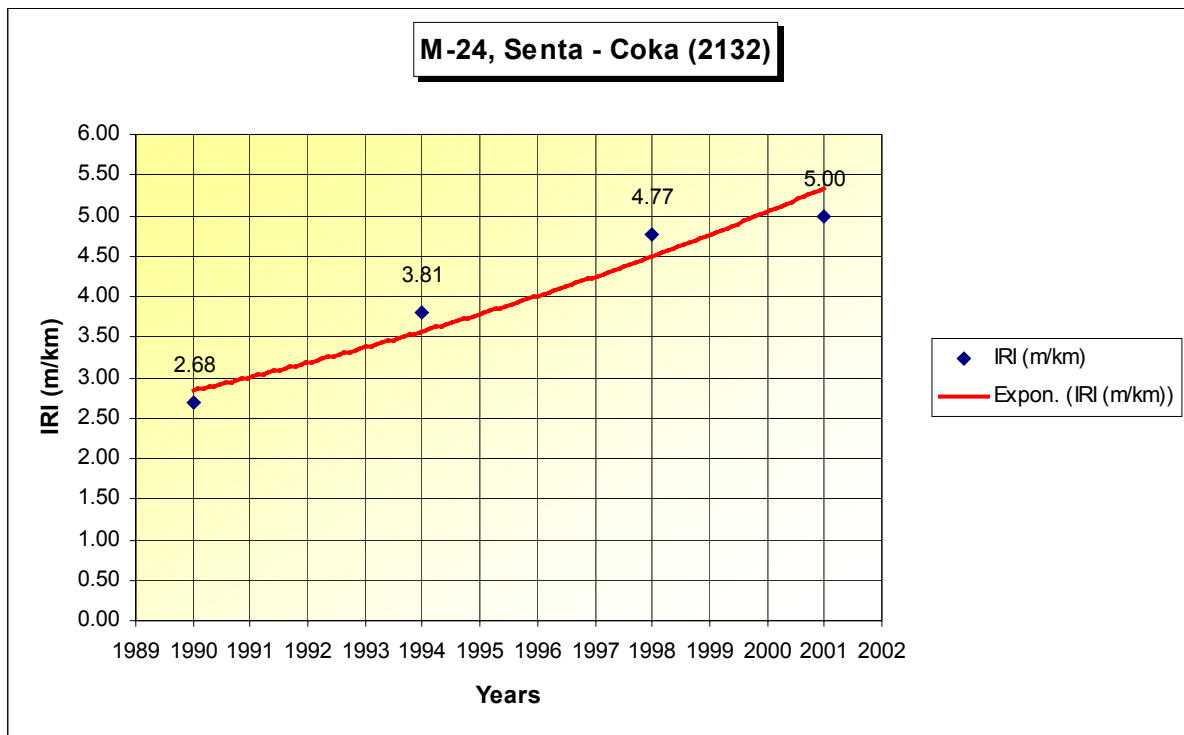


Figure 2 - Calibrage du modèle de détérioration de la chaussée basé sur les données historiques

6. CONCLUSION

En se fondant sur les caractéristiques techniques et d'exploitation constatées pour le réseau routier, les conditions climatiques locales (avant tout en ce qui concerne les précipitations pluviales annuelles moyennes et la profondeur de pénétration du gel dans le sol), les données disponibles relatives aux types et sur la composition de la chaussée, on a effectué le choix préalable de 24 tronçons d'essai et on a offert le plan et le programme de recherches avec pour but de formuler, par des observations pluriannuelles, les lois de modification d'état des chaussées .

Les données recueillies aux tronçons d'essai et consignées à la base de données correspondante serviront de base de formation d'un modèle de changement d'état des chaussées au réseau routier de la République de Serbie. A ce propos, il faut toujours avoir en vue les limitations que les modèles de dégradation des chaussées entraînent avec eux.

La principale raison pour laquelle on attire l'attention sur les limitations imposées par les modèles de changement d'état est le fait que, une fois formulées, on est tenté d'en faire usage même en dehors de leur destination initiale.

Une attention particulière doit être accordée au procédé, systématique et méthodologiquement défini, de recueil de données en vue de pouvoir vérifier et interpréter correctement le modèle, ce qui constitue le sujet fondamental du présent rapport.

Les modèles empiriques doivent être utilisés à cet égard très attentivement. A moins que la forme d'équation soit choisie de manière à satisfaire toutes les conditions limites préalables, physiques et mathématiques, il est peu probable que l'équation serait bien extrapolée en dehors du cadre de données dont le modèle se trouve développé.

A cet égard, les modèles mécanistes et mécanistes-empiriques ont un avantage sur les modèles empiriques. Ils conviennent bien à l'extrapolation ultérieure des données utilisées pour leur calibrage, et le fait est que, d'une manière générale, ils exigent moins de données pour leur constitution que les modèles empiriques.

A l'aide des modèles empiriques il n'est pas facile de surveiller les changements dans le temps , à moins qu'il n'y ait pas suffisamment de données aux intervalles fréquents qui permettraient une interprétation correcte des changements intervenus avec l'écoulement du temps (par exemple, changement de modèle dans les couches de la structure de chaussée au cours des diverses saisons) .

Toutes ces limitations doivent être examinées avec prudence lors de la formation de modèle de changements d'état de chaussée.

Les modèles de changement d'état de chaussée peuvent être développés le mieux avec un respect conséquent de l'approche scientifique lors de leur constitution . Les principes des statistiques (design expérimental) et la mécanique de la chaussée doivent toujours être utilisés en tant que piliers sur lesquels reposent la structure et la forme de modèle de changement d'état de chaussée. Le choix de ces modèles ne doit pas se faire arbitrairement, fondé sur les seules mesures statistiques; ils ont une fonction trop importante pour qu'on puisse procéder de la sorte. Les erreurs ou l'arbitraire dans le choix de modèles coûtent de l'argent, et c'est pourquoi il faut accéder avec responsabilité à ce choix-là. Sur la base des modèles de changement d'état de chaussée on est à même

de répartir les frais ; le cheminement de la circulation doit s'appuyer sans problème sur les éléments de ces frais.

Par ailleurs, en ce qui concerne la répartition des frais, il est impossible, en partant des modèles mal constitués, de déterminer la structure optimale de la chaussée et de faire le choix d'une stratégie optimale d'entretien et de restauration. D'autre part, les modèles de changement d'état bien établis, développés conformément à l'approche scientifique, offriront un appui important à l'exploitation de routes et à leur économie, et permettront une meilleure efficacité technique et une équité plus appropriée.

Enfin, le développement des modèles de changement d'état de chaussée doit faire partie d'une activité continue, avec pour but d'améliorer constamment les qualités des modèles et d'exploiter au mieux possible les données disponibles .

RÉFÉRENCES

1. Hydrometeorology Institute of the Republic of Serbia (1975), "Yugoslav Climate Atlas", Hydrometeorology Institute of the Republic of Serbia, Belgrade.
2. Christopher R. Bennet and William D.O. Paterson (2000), "A Guide to Calibration of HDM-4 model", *Calibration of HDM-4 model, Vol.5*, International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), Birmingham.
3. Robinson, R. Danielson U. and Snaith, M. (1998), "Road Maintenance Management, Concepts and Systems", The University of Birmingham and The Swedish National Road Administration, London.
4. Lytton R. (1988), "Concepts of Pavement Performance Prediction and Modeling", Second North American Pavement Management Conference, Toronto, Ontario, Canada, 2-4 November 1988.