

ETALONNAGE DU MODÈLE HDM-4 DE FORMATION D'ORNIÈRE SUR LES AUTOROUTES NATIONALES AU JAPON

S.Taniguchi & T. Yoshida
Groupe de recherche technique des fondations et routes (pavage)
Laboratoire de génie-civil (PWRI), Japon
taniguti@pwri.go.jp

RÉSUMÉ

Dans cette étude, nous avons d'abord fait une comparaison entre le système HDM-4 et le système MLIT-PMS (système de gestion de pavage) mis au point par le Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports. Ensuite, nous avons procédé à la calibration du modèle de formation d'ornières HDM-4 des routes nationales du Japon et essayé l'application du modèle HDM-4 à l'aide du coefficient obtenu à partir de la calibration. Puis, les résultats du calcul des propriétés superficielles de routes selon HDM-4 ont été comparés avec ceux du système MLIT-PMS. Ces résultats montrent que, quant au pavage d'asphalte dense et au pavage drainant, les valeurs de calcul selon HDM-4 pour la formation d'ornières sont plus proches des valeurs mesurées que les résultats obtenus selon MLIT-PMS. Dans le futur, il est nécessaire d'étudier d'avantage d'autres modèles selon HDM-4, en renforçant la collection des données in situ.

MOTS CLÉS

HDM-4 / PAVAGE / ENTRETIEN / MODELE DE FORMATION D'ORNIERES

1. INTRODUCTION

Le système de gestion de pavage (PMS : Pavement Management System) permet d'optimiser l'effet économique de l'investissement du pavage du point de vue "coût-efficacité" pour le gestionnaire de routes, l'utilisateur et l'environnement. Actuellement, dans le domaine des systèmes de gestion de pavage, le système HDM-4 est le plus pratique (Highway Development and Management Tools), pour avoir été mis au point par la Banque Mondiale et l'Association mondiale de la route (AIPCR) soit World Road Association (PIARC) à titre d'outil d'évaluation économique de projet d'investissement routier.

Dans le but d'appliquer le système HDM-4 aux routes générales du Japon, nous avons procédé à la calibration du modèle de formation d'ornières HDM-4 et essayé de l'appliquer aux routes nationales générales. Nous avons également fait la comparaison entre le système HDM-4 et le système de gestion de pavage (MLIT-PMS) utilisé par le Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports.

2. COMPARAISON DES SYSTÈMES HDM-4 ET MLIT-PMS

Ci-dessous est indiquée la comparaison au niveau gestion - entretien - élaboration politique de routes entre le système HDM-4 et le système MLIT-PMS utilisé par le Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports.

2.1 Aperçu sur le système de gestion de pavage (MLIT-PMS)

Le système de gestion et d'entretien du pavage (MLIT-PMS) du Ministère de transport territorial est constitué par la banque de données de pavage, le système de planning de réparation à court terme au niveau du projet et le système de planning de réparation à long terme au niveau du réseau.

La banque de données de pavage, Figure 1, constitue le noyau du système MLIT-PMS permettant une gestion efficace des données de propriétés superficielles de routes, les données de gestion et d'entretien, les données de composition de pavage, etc. et un traitement graphique des données, etc.

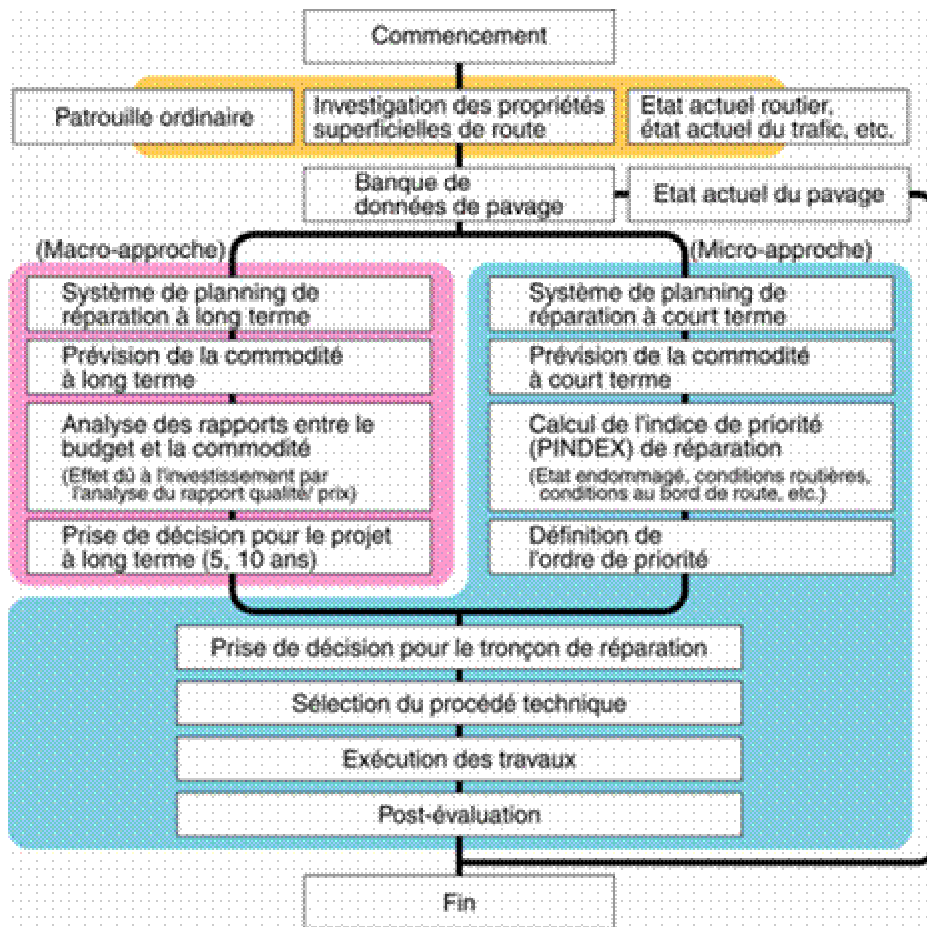


Figure 1 - Schéma de base pour le système de gestion de pavage du Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports

Le système de planning de réparation à court terme (Figure 2) émet un jugement suivant les données qu'il reçoit de la banque de données de pavage concernant les positions de réparation et le procédé technique, et constitue le noyau du système PMS avec la banque de données de pavage. Parmi les sous-systèmes de MLIT-PMS, il y a le système de mise en priorité qui définit le tronçon de réparation et le système de sélection de procédé de réparation.

Le système de mise en priorité calcule l'indice de priorité (PINDEX) de réparation exprimée au score à partir de l'indice de gestion et d'entretien du Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports, effectue une correction suivant le tronçon routier, les

conditions au bord de route, etc. et définit la priorité de 1 à 3 par ordre de grandeur du score.

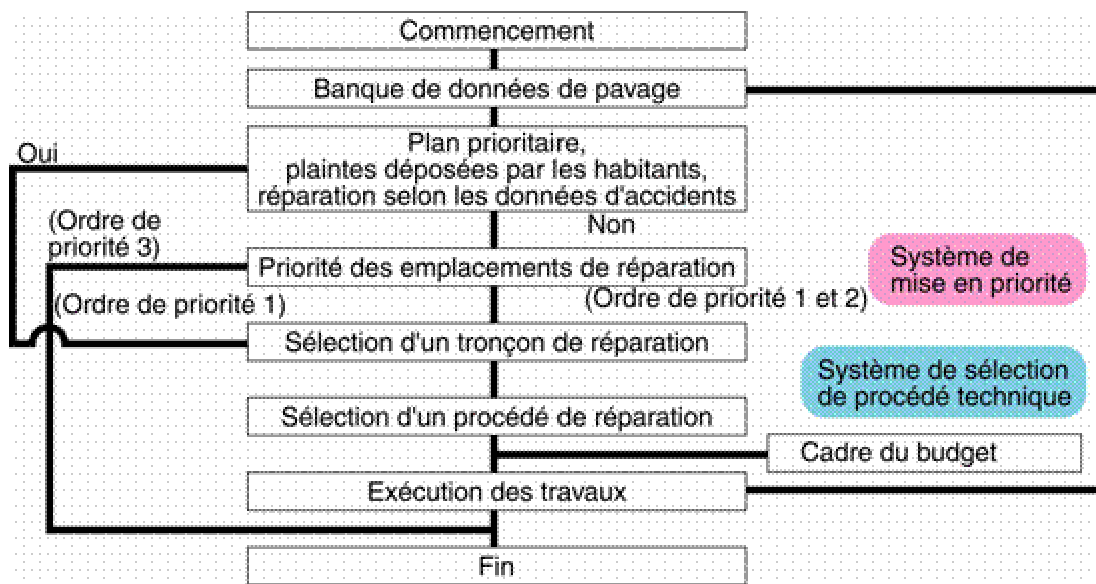


Figure 2 - Schéma de base pour le système de planning de réparation à court terme du Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports

Le système de sélection de procédé de réparation sélectionne le procédé technique et le tronçon de réparation d'une manière optimale pour les emplacements dont la nécessité d'une réparation (priorités 1 et 2) est reconnue. Il procède d'abord à l'évaluation de la construction du pavage suivant les propriétés superficielles de la route, la composition du pavage, les antécédents de service et les conditions de trafic, etc. et sélectionne soit une solution d'entretien, soit une solution de réparation. Puis, il extrait un procédé applicable suivant l'indice de propriétés superficielles de la route, des conditions au bord de route, etc. et sélectionne le procédé technique et le tronçon de réparation optimaux, compte tenu de l'efficacité économique et du procédé technique.

L'indice de gestion et d'entretien MCI du Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports est défini par la formule ci-dessous.

$$MCI=10-1.48C^{0.3}-0.29D^{0.7}-0.47\sigma^{0.2}$$

Où, C : taux de fissuration (%)

D : volume de formation d'ornières (mm)

σ : volume de la section verticale (mm)

Le niveau de gestion de l'indice de gestion et d'entretien (MCI) adapté pour la gestion des routes, est le suivant :

MCI	Niveau de gestion
supérieur à 5	Réparation non nécessaire (niveau de gestion souhaitable)
3 à 5	Réparation nécessaire
inférieur à 3	Réparation nécessaire d'urgence

La formule de prévision pour la fissuration et la formation d'ornières, est la suivante :

Pavage dense :

$$\begin{aligned} \text{Fissuration} & C_i + 0.40 + 1.16C_i \\ \text{Formation d'ornières } D_i + 1 & = 0.03 + 1.03D_i \end{aligned}$$

Pavage à haute fonctionnalité :

$$\begin{aligned} \text{Fissuration} & C_i + 0.40 + 1.1C_i \\ \text{Formation d'ornières } D_i + 1 & = 0.78 + 0.99D_i \end{aligned}$$

Où, $\langle i \rangle$ représente l'année et la formule de prévision est une formule empirique obtenue à partir de la valeur mesurée.

Le système de planning de réparation à long terme (Figure 3) combine d'une manière organique le niveau de gestion de pavage, la commodité de pavage évaluée selon MCI, le coût de réparation, les facilités pour les usagers correspondant à MCI, etc. et guide le projet de réparation optimal. Il est doté des fonctions requises depuis la prévision de la demande de réparation et le calcul de l'efficacité d'investissement (macro-évaluation) jusqu'à la sélection des emplacements de réparation, du procédé technique et de la période d'exécution (micro-évaluation).

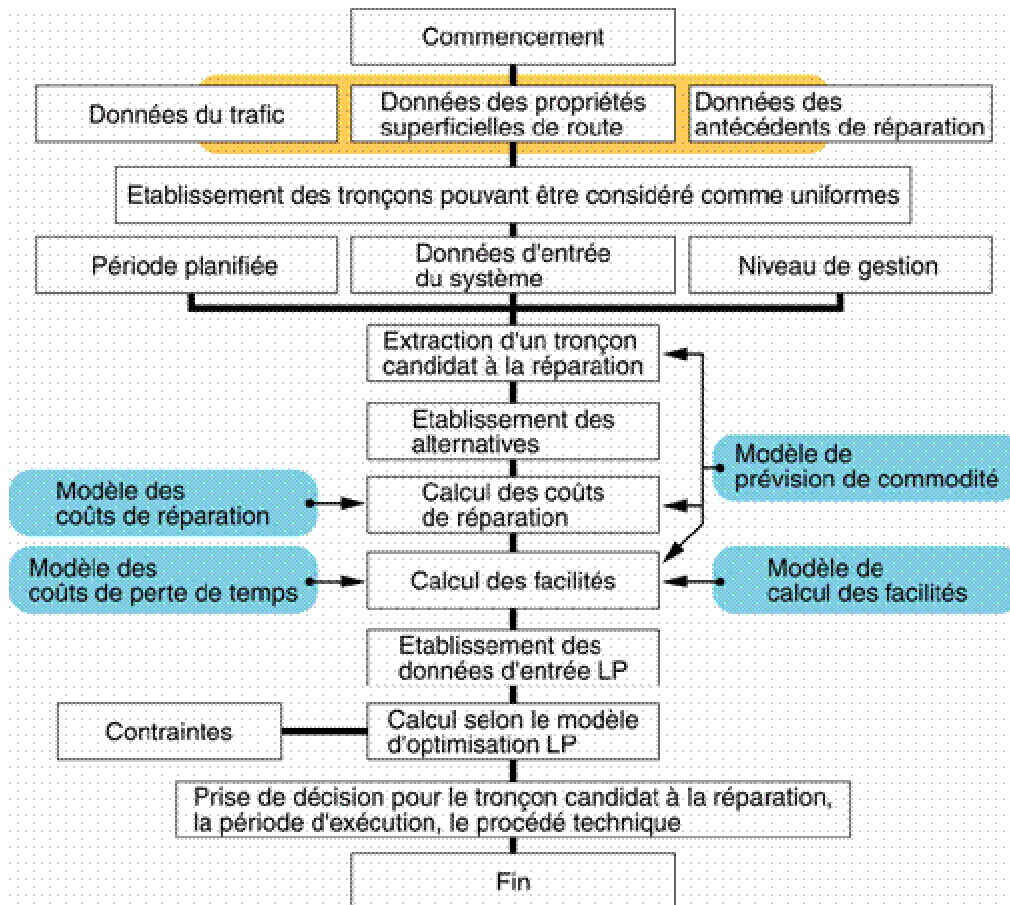


Fig. 3 Schéma de base pour le système de planning de réparation à long terme du Ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports

2.2 Comparaison des systèmes HDM-4 et MLIT-PMS

HDM-4 est un outil d'évaluation économique pour la sélection d'investissement routier et MLIT-PMS est un système de gestion de pavage pour la gestion et l'entretien de pavage routier. En ce qui concerne la gestion des routes, ils ont comme points essentiels en commun le planning de réparation à court terme, de planning de gestion et d'entretien des

routes, l'estimation de budget, etc. Toutefois, en ce qui concerne le calcul des coûts de circulation de véhicules, HDM-4 utilise la planéité (IRI) tandis que MLIT-PMS, l'indice de gestion et d'entretien (MCI) à titre des effets dus aux propriétés superficielles de route.

HDM-4 peut être appliqué, en plus de la gestion routière, à l'entretien des routes et à l'élaboration politique relative au trafic routier mais MLIT-PMS n'y est pas applicable.

3. CALIBRATION DU MODÈLE DE FORMATION D'ORNIÈRES

3.1 Mise en ordre des données pour la calibration

(1) Sélection d'un tronçon cible

Les conditions d'extraction des données sont consignées comme ci-dessous et les données sont collectionnées.

* Sélectionner les trois tronçons suivants :

- Tronçon A : volume de trafic journalier de cinq cent milles véhicules environ (dans les deux directions).
- Tronçon B : volume de trafic journalier de deux cent milles véhicules environ (dans les deux directions).
- Tronçon C : tronçon de pavage drainant (sans tenir compte du volume de trafic)

* Le terrassement est prévu pour ces trois tronçons, qui sont uniformes (100 m environ) et dont la largeur de route, la largeur de bord, la composition de voies de circulation, le volume de trafic et la durée de mise en service sont similaires.

* La durée d'analyse de la simulation HDM-4 suppose 10 ans environ et un tronçon datant d'environ 10 ans depuis la construction (ou la reconstruction) est sélectionné.

* A supposer que des réparations ont été effectuées une fois ou plus après la mise en service.

* Le bureau cible est sélectionné dans la circonscription du bureau des travaux des routes nationales de UTSUNOMIYA mais s'il n'y a pas de tronçon correspondant aux conditions ci-dessus à UTSUNOMIYA, le bureau est sélectionné ailleurs.

(2) Sélection des véhicules représentatifs

Du fait qu'il est difficile, dans le cadre d'un seul modèle d'utilisateur, de modéliser des coûts de circulation par véhicule, des catégories de véhicules représentatifs sont utilisés dans cette analyse. Ceci permet d'étudier les particularités des véhicules par type.

Les cinq types de véhicules mentionnés ci-dessous sont sélectionnés comme véhicules représentatifs, tenant compte de la composition du trafic, des différentes fonctions de véhicule et de la disponibilité des données.

- Voiture légère
- Voiture ordinaire
- Camionnette
- Poids lourd

- Autocar

(3) Conditions des données d'entrée

Les conditions des données d'entrée sont résumées comme ci-dessous :

- * Les périodes d'exécution pour toutes les routes sont déterminées depuis 1988 à 1999.
- * Les tronçons cibles sont ceux qui ont subi un déblayage et un recouvrement.
- * Les données des accidents de circulation ne sont pas incluses dans cette recherche.
- * Sur la base des données du recensement de la circulation routière, le volume de circulation par type de véhicule est groupé suivant 5 catégories de véhicules représentatifs.
- * Le critère de valeur pour la gestion de formation d'ornières est de 30 mm. Dans le cas où la formation d'ornières mesurées dépasse le critère de gestion, il faut exécuter un déblayage et un recouvrement.

3.2 Résultats de la calibration

Les valeurs mesurées et les valeurs de calcul ΔRDO , $\Delta RDST$, $\Delta RDPD$ pour la formation d'ornières dans les tronçons, sont indiquées à la page suivante. Du fait que les tronçons A et B sont d'une construction de pavage dense et que le tronçon C, d'une construction de pavage à haute fonctionnalité, la calibration par type de pavage a été effectuée. L'analyse par régression multiple à l'aide de ces données a été exécutée pour obtenir le coefficient de calibration K, paramètre de régression.

$$\Delta RDM = K_{rid} [a_0 (YE4 \cdot 10^6)^{(a1 + a2 \cdot DEF)} \cdot SNP^{a3} \cdot COMP^{a4}] + K_{rst} (a_0 \cdot SNP^{a1} \cdot YE4^{a2} \cdot COMP^{a3}) + K_{rpd} CDS^3 \cdot a_0 \cdot YE4 \cdot Sh^{a1} \cdot HS^{a2}$$

- Pavage dense :

$$K_{rid} = 3.26 \quad K_{rst} = 3.11 \quad K_{rpd} = 0.59$$

(Coefficient de corrélation $R^2 = 0,1617$)

- Pavage drainant :

$$K_{rid} = 2.96 \quad K_{rst} = 5.73 \quad K_{rpd} = -2.5$$

(Coefficient de corrélation $R^2 = 0,8636$)

$K_{rpd} < 0$ signifie que "avec la durée de service, la part de déformation plastique de la couche As diminue". Ceci n'étant pas applicable pour un phénomène réel, nous avons supposé $K_{rpd} = 0$ et obtenu les valeurs suivantes :

$$K_{rid} = 1.48 \quad K_{rst} = 0.83 \quad K_{rpd} = 0$$

(Coefficient de corrélation $R^2 = 0,7273$)

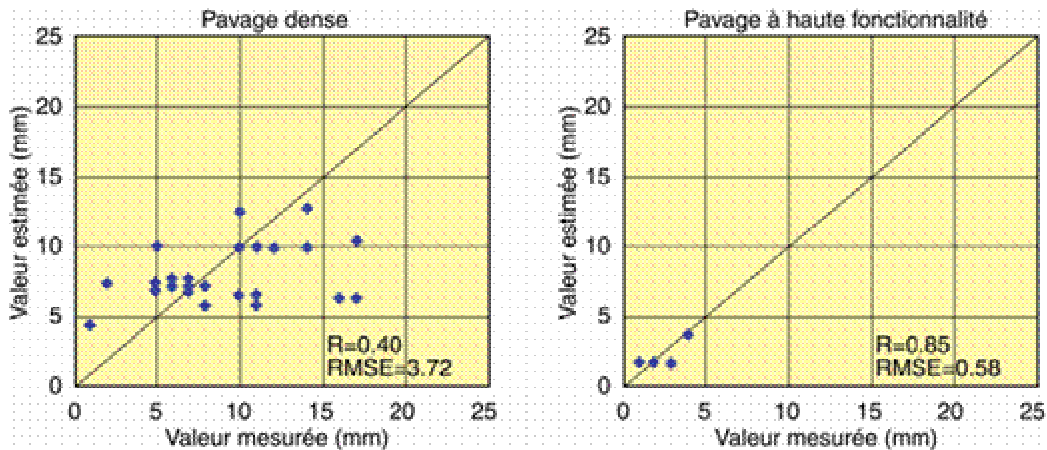
Les résultats de la calibration du modèle de formation d'ornières sont indiqués en figure 4.

Pour le pavage dense, la valeur de formation d'ornières a été calculée de nouveau à l'aide du coefficient de calibration évalué par le calcul et représentée en graphique afin de la comparer avec les valeurs mesurées. Nous avons vérifié que la valeur de calcul s'approchait de la valeur mesurée, la valeur RMSE (erreur de la valeur moyenne quadratique) de 6,49 avant la calibration devenant à 3,72 après la calibration.

$$\text{Où, RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta R_i - \Delta R'_i)^2}{n}}$$

ΔR : valeur mesurée de la formation d'ornières,
 $\Delta R'$: valeur de calcul de la formation d'ornières,
 n : nombre d'échantillons

Pour le pavage drainant, les données en cours sont relativement peu nombreuses et les valeurs mesurées ainsi que les valeurs de calcul sont écartées. De même que par le pavage dense, la valeur RMSE de 4,23 avant la calibration atteignant 0,58 après la calibration, nous avons vérifié que la valeur de calcul s'approchait de la valeur mesurée après la calibration.



4. COMPARAISON DES PRÉVISIONS CONCERNANT LES PROPRIÉTÉS SUPER-FICIELLES DES ROUTES SELON HDM-4 ET MLIT-PMS

A l'aide du coefficient de calibration évalué par le calcul du chapitre précédent, le modèle HDM-4 a été mis à exécution et les résultats de calcul des propriétés superficielles des routes ont été comparés avec ceux du système de gestion de pavage (MLIT-PMS). Pour les trois tronçons cibles, l'essai de HDM-4 se résume comme suit :

* Tronçon cible

- Grand volume de trafic et pavage dense : A1
- Petit volume de trafic et pavage dense : B1
- Pavage drainant : C1

* Type de détérioration et critère de gestion :

Formation d'ornières : Si la formation d'ornières dépasse 30 mm, déblayage et recouvrement sont effectués.

* Période de prévision :
2001 à 2015

* Produits de l'essai modèle :

- Des trois sous-modèles ci-dessous, les éléments représentatifs ont été observés.
- Modèle d'entretien et de réparation de pavage
 - Modèle des coûts d'usage de route

- Modèle des effets sociaux et environnementaux

Ci-dessous est indiquée la comparaison des résultats de calcul des propriétés superficielles des routes pour tous les cas pratiques dans la figure 5. Il s'agit du tableau des valeurs mesurées et de calcul pour les trois tronçons depuis la période initiale d'exécution des travaux routiers jusqu'à 2015.

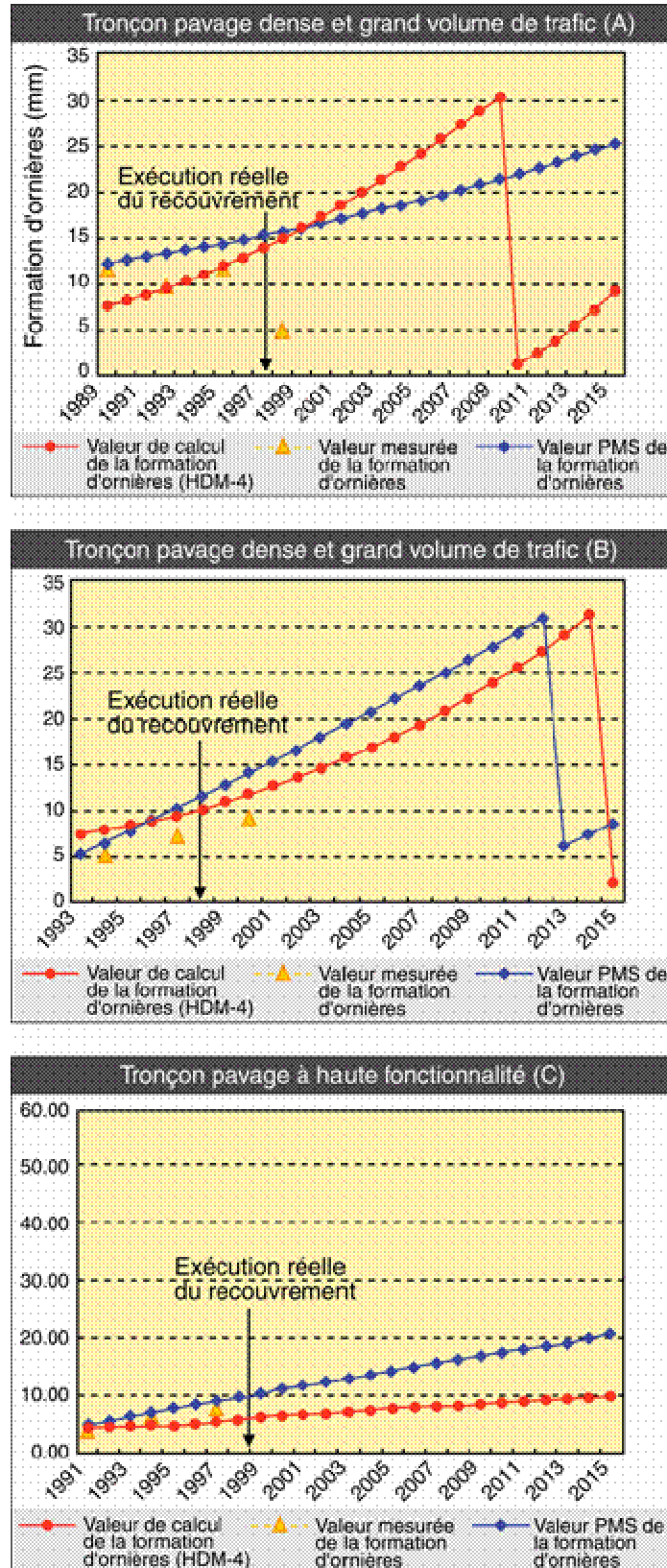


Figure 5 - Comparaison des formations d'ornières selon HDM-4 et MLIT-PMS

Ces résultats montrent que les valeurs de calcul selon HDM-4 pour la formation d'ornières sont plus proches des valeurs mesurées que les résultats obtenus selon MLIT-PMS. De plus, la comparaison des valeurs de calcul selon HDM-4 et MLIT-PMS, révèle que les deux ne présentent pas d'écart majeur et que leur tendance coïncide en général. Toutefois, quant à la période d'exécution réelle du recouvrement, les résultats obtenus selon HDM-4 et MLIT-PMS présentent tous les deux un écart. Ceci est dû au fait que sur un chantier réel, le critère de gestion du recouvrement n'est pas simplement la formation d'ornières mais qu'il est constitué par l'indice de gestion et d'entretien MCI, indice intégral de gestion et d'entretien défini par le taux de fissuration, la formation d'ornières et le volume de la coupe verticale.

5. RÉSUMÉ ET POINTS À EXAMINER DANS LE FUTUR

Nous avons étudié le modèle interne HDM-4, collectionné et mis en ordre les données nécessaires pour 12 tronçons de route de 100 m. De plus, chaque modèle a été calibré et mis à l'essai. La comparaison des résultats obtenus selon HDM-4 et MLIT-PMS a démontré que les résultats selon HDM-4 présentent la même ou une meilleure précision que ceux selon MLIT-PMS.

Les points mentionnés ci-dessous devront être examinés afin de rendre HDM-4 applicable aux routes du Japon.

- Pour le modèle de détérioration de pavage, nous n'avons calibré que le modèle de formation d'ornières à cause d'une restriction des données existantes. Toutefois, il est nécessaire de calibrer la fissuration, la planéité superficielle de route et le coefficient de résistance au glissement. De plus, il est aussi nécessaire d'étudier en plus du pavage flexible, le pavage de béton et le pavage composite.
- A l'aide de HDM-4, il est nécessaire d'étudier l'applicabilité de HDM-4 au niveau du réseau comme l'élaboration des projets de réparation sur plusieurs années, le budget d'investissement de route à moyen et à long termes, l'évaluation de la performance routière, l'élaboration politique relative au trafic routier, etc.