

**XXII^e CONGRES MONDIAL SUR LA VOIRIE
DURBAN-AFRIQUE DU SUD– 19-25 OCTOBRE 2003**

C 6 COMITE TECHNIQUE SUR LA GESTION DES ROUTES

Auteurs: *Khalid Mohammad Ibrahim Al Emadi* (Ministère des Affaires Municipales et de l'Agriculture – Département de la Voirie – Etat du Qatar) – e-mail: kalemadi@mmaa.gov.qa

Gianfranco Battiato (RO.DE.CO. s.r.l., Italie) – e-mail: rodeco@rodeco.it

Paolo Liberati (TECHNITAL S.p.A., Italie) – e-mail: p.liberati@technital.it

Titre: **DESCRIPTION ET MISE EN OEUVRE D'UN SYSTEME DE GESTION DES PAVAGES (PMS) DEVELOPPE POUR L'ETAT DU QATAR**

TABLE DES MATIERES

1	AVANT-PROPOS	2
2	PHASE D'EVALUATION DU PAVAGE	5
3	EVALUATION DES MODULES ROUTIERS.....	5
	3.1 Contre-calcul des Modules des Couches du Pavage.....	6
	3.2 Calculs des Couches des Modules et de la Durée Résiduelle du Pavage	6
4	SECTIONS ROUTIERES HOMOGENES	7
5.	TRAITEMENT DES DONNEES GROSSIERES	8
	5.1 Données du Profilomètre IRI2.....	8
	5.2 Relevé des Contraintes Superficielles	8
	5.3 Relevés FWD	9
6	SYSTEME DE GESTION DES PAVAGES	13
	6.1 Evaluation des Conditions des Pavages et Indice de Qualité des Pavages	13
	6.2 Stratégies d'Entretien	14
	6.3 Prix Unitaires des Mesures d'Entretien	16
	6.4 Résultats de la première évaluation du Système de Gestion des Pavages	17
7	RESUME ET CONCLUSIONS.....	21

1 AVANT-PROPOS

Depuis quelques années, l'Etat du Qatar connaît un essor économique fort et constant; on a donc observé récemment un accroissement énorme du trafic lourd en de nombreuses zones du pays, notamment à Doha City.

Le **Département de la Voirie (RD) du Ministère des Affaires Municipales et de l'Agriculture**, en vue d'améliorer l'efficacité de la gestion des plans d'entretien du réseau routier urbain et des grand-routes, a développé et réalisé un nouveau **Système de Gestion des Pavages (PMS)**, avec le concours de **TECHNITAL** et de **RoDeCo**.

Le Système de Gestion des Pavages (PMS) vise à acquérir des méthodes de pointe comme l'adoption de systèmes de relevé non-destructifs très performants dans la phase d'Evaluation des Pavages (PE) et de réaliser un Système efficace de Gestion des Pavages Routiers.

Le PMS a été réalisé comme système de premier niveau à développer et étendre davantage à l'avenir. Dans cette première phase du PMS, on a envisagé un réseau de 350 km environ de routes: 160 km situés dans la Zone Industrielle de Doha, où le trafic lourd est très intense, et 190 km d'autres grand-routes à Doha.

La réalisation du PMS s'articule sur les phases suivantes:

- Approvisionnement des équipements;
- Relevés sur le terrain ;
- Analyse des données des relevés;
- Identification des stratégies de réhabilitation d'entretien et des priorités de tout le réseau routier faisant l'objet du PMS;
- Installation du logiciel PMS sur les structures du Département de la Voirie;
- Formation du personnel du Département de la Voirie.

On a procuré l'équipement suivant:

- Un **Profilomètre au Laser IRI2 Classe 1+** conçu pour relever tous les 10 mm de section routière, le profil longitudinal réel, l'IRI (*Indice de Rugosité Internationale*), les irrégularités des ondes courtes (1 à 3,3 m) et moyennes (3,3 à 13 m) filtrées du profil réel
- Un **Fleximètre par Choc (FWD)** pour établir la résistance du pavage
- Une **Voiture de Relevé des Contraintes** pour détecter jusqu'à 7 types de contraintes superficielles à 3 niveaux d'intensité différents;
- Un **Système de Pesage en Mouvement (WIM)** pour établir le poids de chaque charge par essieu, les types de véhicules et les intensités du trafic.

RoDeCo (Italie) a développé et adapté à ce Projet le Logiciel PMS suivant:

- RO.M.E.®: Road Moduli Evaluation
- ISO®: Identification of Homogeneous Sections
- RO.MA.®: Road Pavement Management System

L'analyse des données de relevé grossières a été exécutée par le logiciel RO.M.E. (pour évaluer les modules des couches et la durée résiduelle du pavage) et le logiciel ISO pour identifier les sections routières homogènes.

On a analysé tous les paramètres superficiels et structuraux par le biais du logiciel RO.MA. pour évaluer l'Indice de Qualité du Pavage (PQI).

Le PMS a permis de saisir les principales défaillances des pavages existants et de repérer les stratégies de réhabilitation d'entretien les plus convenables et les priorités, sur une période de 10 ans pour le réseau routier analysé par le Projet.

On a envisagé différentes stratégies d'entretien pour:

- assurer les niveaux de qualité du pavage demandés,
- choisir le rapport coûts/profits optimal de toute mesure d'entretien alternative au niveau du réseau et du projet et
- optimiser le budget d'entretien du Département de la Voirie.

Les principales caractéristiques du PMS dont TECHNITAL et RoDeCo ont doté ce Projet sont sa simplicité et sa modularité ainsi que sa capacité d'être aisément géré et réalisé ensuite à l'avenir à des coûts réduits.

Au cours du Projet, un nombre sélectionné d'ingénieurs du Département de la Voirie a été convenablement formé sur l'utilisation de l'équipement et du logiciel PMS.

Le Logiciel fourni suivant le Projet a été installé sur deux Ordinateurs (un Ordinateur de Bureau et un Ordinateur Portatif) dans un bureau affecté au PMS dans les locaux du Département de la Voirie.

Le personnel du Département de la Voirie est maintenant à même d'exécuter des relevés additionnels, d'examiner d'autres routes et d'exécuter toutes les analyses et simulations pour définir les meilleures possibilités d'entretien d'après les exigences du Département de la Voirie.

Le PMS fourni suivant le Projet est conçu comme Système Modulaire et peut être actualisé et intégré à l'avenir, suivant les besoins.



Fig. 1: Carte général de Doha et du la Zone Industrielle de Doha

2 PHASE D'ÉVALUATION DU PAVAGE

Toutes les routes faisant l'objet de cette étude (Cf. carte sur la fig.1) ont été essayées à l'aide de l'équipement fourni pour le Projet, à savoir:

- le fleximètre par choc (FWD)
- le profilomètre IRI2
- la Voiture de Relevé des Contraintes
- le Système de Pesage en Mouvement (WiM).

On a effectué les mesures IRI2 sur une voie pour véhicules lents où l'on a relevé une contrainte plus importante par suite du trafic lourd. Suivant la vitesse du profilomètre, le profilomètre IRI2 a pu détecter le profil longitudinal réel du pavage tous les 5-50 mm de section du pavage.

On a effectué les mesures de Relevé des Contraintes en utilisant un intervalle de 25 mètres de la section routière. On a relevé les contraintes superficielles suivantes:

- Fendillement;
- Fissuration longitudinale et transversale;
- Flaches;
- Affaissement;
- Nids de poules;
- Usure par frottement ;
- Rapiécage.

On a exécuté les relevés au fleximètre par choc sur les voies pour véhicules lents en utilisant un intervalle étalon de 50-100 m de section routière.

On a prélevé et examiné plusieurs carottes des pavages existants pour évaluer l'épaisseur des couches du béton armé.

Le trafic considéré pour évaluer la durée résiduelle du pavage a été calculé à l'appui des résultats des mesures par le système de pesage en mouvement et d'autres calculs du trafic traditionnels. On a ensuite transformé les charges par essieu en termes d'ESAL (Charges par Essieu Standard Equivalentes) de 8,1 tonnes et évalué les volumes de trafic futurs sur 10 ans, sur la base d'un accroissement annuel de 2 à 5%.

3 ÉVALUATION DES MODULES ROUTIERS

On a évalué les Modules Routiers par le logiciel RO.M.E.

Le logiciel RO.M.E. a été conçu pour évaluer les modules des couches des pavages à

partir des données des cuvettes de flexion du fleximètre par choc et pour estimer la Durée Résiduelle du Pavage (fatigue) et l'épaisseur de recouvrement pour supporter l'intensité du trafic prévue.

Le logiciel exige l'entrée des données de base suivantes:

- Epaisseur des couches
- Données sur le trafic (ESAL)
- Données sur le fleximètre par choc
- Conditions de température mesurées au cours de l'essai sur le terrain.

En principe, le pavage flexible présente une structure à 3 couches avec bitume combiné dans une couche supérieure; le hourdis est la deuxième couche et l'encaissement est la troisième couche ayant une épaisseur infinie.

La couche en béton armé est conçue comme couche 1, avec épaisseur H_1 et module E_1 . La couche granulaire du hourdis est conçue comme couche 2, avec épaisseur H_2 et module E_2 . Le module d'encaissement est conçu comme E_3 .

Les conditions critiques du pavage flexible sont les déformations horizontales dues à la traction au fond de la couche supérieure et les déformations verticales sur la couche du hourdis et sur l'encaissement.

3.1 Contre-calcul des Modules des Couches du Pavage

Le logiciel RO.M.E. comprend un programme de contre-calcul pour le traitement des données de flèche.

Le logiciel RO.M.E. utilise les équations de Boussinesque pour évaluer les déformations, les contraintes et les flèches d'un espace élastique linéaire semi-infini isotropique homogène et les modifications d'Odemark-Kirk connues comme la "Méthode de l'Epaisseur Equivalente -MET".

Pour les structures normales des pavages à 3 couches, le logiciel RO.M.E. évalue une valeur d'étalonnage initiale du module d'encaissement, en utilisant certaines flèches FWD extérieures, car ces flèches, loin du centre de la plaque, ne dépendent à peu près que du module d'encaissement. Le module d'encaissement est ensuite ajusté pendant les relevés, eu égard au comportement non-linéaire de l'encaissement.

3.2 Calculs des Couches des Modules et de la Durée Résiduelle du Pavage

En utilisant le rayon de courbure des cuvettes de flexion, le logiciel ROME. est à même d'estimer les modules des couches supérieures et des couches du hourdis.

Les modules d'encaissement sous le centre de la charge sont ajustés aux mêmes valeurs

estimées des flèches d'étalonnage. Le procédé de répétition est achevé lorsque la cuvette de flexion coïncide avec la cuvette de flexion réelle (critères de convergence).

Le logiciel RO.M.E. peut fournir le calcul des déformations et des contraintes dans les différentes conditions saisonnières. On considère le changement des modules des couches en béton armé en fonction de la température par l'équation logarithmique.

Enfin, en appliquant la Loi de la Fatigue et la Loi de Miner, on peut estimer la durée résiduelle du pavage.

Après avoir estimé la Durée Résiduelle du Pavage, le logiciel RO.M.E. calcule la couche de recouvrement théorique pour supporter le trafic de projet prévu.

4 SECTIONS ROUTIERES HOMOGENES

En principe, la longueur des routes n'est pas maintenue inférieure à 200-300 mètres. Au vu de quoi, le Système de Gestion des Pavages ne peut préconiser un changement des mesures d'entretien tous les 100-200 mètres, à savoir les mesures d'entretien préconisées doivent être les plus homogènes possible.

Il faut donc comprimer le plus possible les données dans les Sections Routières Homogènes, ce qui se fait à l'aide du logiciel ISO.

Le logiciel ISO a pour but d'identifier les Sections Routières Homogènes suivant une méthode statistique. Les principales phases du logiciel ISO sont les suivantes:

1. Séparer les paramètres superficiels et structuraux par gammes et adopter la longueur minimale de la Section Homogène (HS);
2. Calculer la Section Homogène pour chaque variable, indépendamment des autres;
 - a) adoption de la première $HS^{(1)}$ suivant la phase 2;
 - b) calcul de la $HS(n)$ actuelle (Ecart Moyen et Standard);
 - c) application du *t-test* à la HS actuelle pour estimer si elle appartient à la $HS(n)$;
 - d) si le *t-test* n'est pas franchi, on effectue une nouvelle population *t-test*;
 - e) si le *t-test* est franchi, toute la population est attribuée à $HS^{(n)}$.
$$HS^{(n)} = HS^{(n)} + \text{éléments } \Sigma;$$
 - f) si le *t-test* mentionné au point e) n'est pas franchi et la somme des éléments est supérieure à la longueur minimale HS , on définit une nouvelle $HS^{(n+1)}$:
 $HS^{(n+1)} = \text{éléments } \Sigma$. Le logiciel reprend alors du point c).
3. Subdivision de chaque HS par catégories.
4. Section de liaison HS
5. La valeur moyenne de chaque paramètre est corrigée avec S.D.

6. L'utilisateur peut accepter les résultats finaux ou changer leur longueur minimale HS

5. TRAITEMENT DES DONNEES GROSSIERES

5.1 Données du Profilomètre IRI2

A partir des profils mesurés, on a estimé les paramètres suivants (on a établi une moyenne tous les 25 m):

- Valeurs IRI:
- Irrégularités des ondes courtes;
- Irrégularités des ondes moyennes.

Pour interpréter les susdits paramètres, on a adopté les valeurs de référence suivantes:

- IRI (mm/m) $\leq 2,5$ assez bon;
- $2,5 < \text{IRI} < 3,5$ inadéquate;
- $\text{IRI} \geq 3,5$ critique;
- Ondes courtes > 2 et ≤ 3 mm/m inadéquate;
- Ondes moyennes > 4 et ≤ 6 mm/m inadéquate;

Les résultats de l'analyse ont mis en exergue que la plupart des routes examinées ont une égalité inadéquate ou critique du profil longitudinal des pavages.

5.2 Relevé des Contraintes Superficielles

Chaque type de contrainte superficielle, relevée tous les 25 mètres de section routière, a été évaluée suivant 3 niveaux différents d'intensité:

- Intensité 0 aucune contrainte
- Intensité 1 contrainte réduite
- Intensité 2 contrainte moyenne
- Intensité 3 contrainte élevée

Le niveau d'intensité de chaque type de contrainte s'est basé sur l'importance de la contrainte dans la zone contrôlée et sur l'intensité de la contrainte relevée (à savoir, la taille des fissures ou des trous est le paramètre adopté pour établir l'intensité de la contrainte).

La somme du niveau d'intensité de chaque type de contrainte sur 1 km de section routière définit l'Indice de Contrainte.

Indice de Contrainte (DS/km)	
0	Aucune contrainte
0 – 30	Contrainte réduite
30 – 60	Contrainte moyenne
> 60	Contrainte élevée

La contrainte superficielle la plus fréquente relevée a été la flache, le fendillement et la fissuration longitudinale et transversale.

Pour de nombreuses routes dans la Zone Industrielle, on a également remarqué ce qui suit:

- la perte quasiment totale de bitume sur la surface du pavage;
- des cas fréquents de granulats polis risquant de causer des dangers de dérapage.

5.3 Relevés FWD

Pour chaque essai FWD, on a évalué ce qui suit à l'aide du logiciel RO.ME.:

- les valeurs des modules du béton armé (E1), du hourdis (E2) et de l'encaissement (E3), en conditions d'essai sur le terrain;
- les valeurs des modules du béton armé, du hourdis et de l'encaissement adaptées aux différentes saisons de l'an et à la température de référence de 20°C (E1 20°C) pour chaque couche de béton armé;
- la Durée Résiduelle du Pavage (fatigue) en ans:
- le renforcement théorique (mm) nécessaire à supporter le trafic de projet pendant 10 ans (*Durée du Pavage de Projet prévue*)

On a observé les modules moyens suivants:

Modules moyens (Mpa)	Couche en béton armé 20°C	Couche du hourdis	Encaissement
Zone Industrielle	3,357	482	419
Autres routes	2,770	304	225

Les susdites valeurs peuvent être estimées convenables en l'espèce. On a relevé des valeurs des modules particulièrement élevées pour la couche du hourdis et l'encaissement.

Quant aux résultats détaillés RO.M.E., on peut affirmer que la plupart des routes à l'étude ont des valeurs moyennes et élevées des modules, notamment celles fraîchement construites. Cependant, on a estimé de bas modules pour un nombre pas négligeable de routes (anciennes).

La plupart des routes de la Zone Industrielle sont affectées par des intensités de trafic très intenses et des charges exceptionnelles. L'épaisseur actuelle des couches du Pavage en Béton Armé est de 1/4 ou 1/5 de l'épaisseur qui conviendrait NORMALEMENT à ces intensités de trafic.

Ceci dit, bien que quelques-unes des routes examinées mettent en exergue une contrainte basse-moyenne ou des modules des couches en béton armé et/ou IRI adéquats, le remplacement aussi bien de la couche du hourdis que de la couche en béton armé est la seule stratégie d'entretien à long terme qui peut être préconisée.

Les Fig.2 et Fig. 3 reproduisent un exemple de la représentation graphique des paramètres superficiels et structuraux obtenus des données du relevé

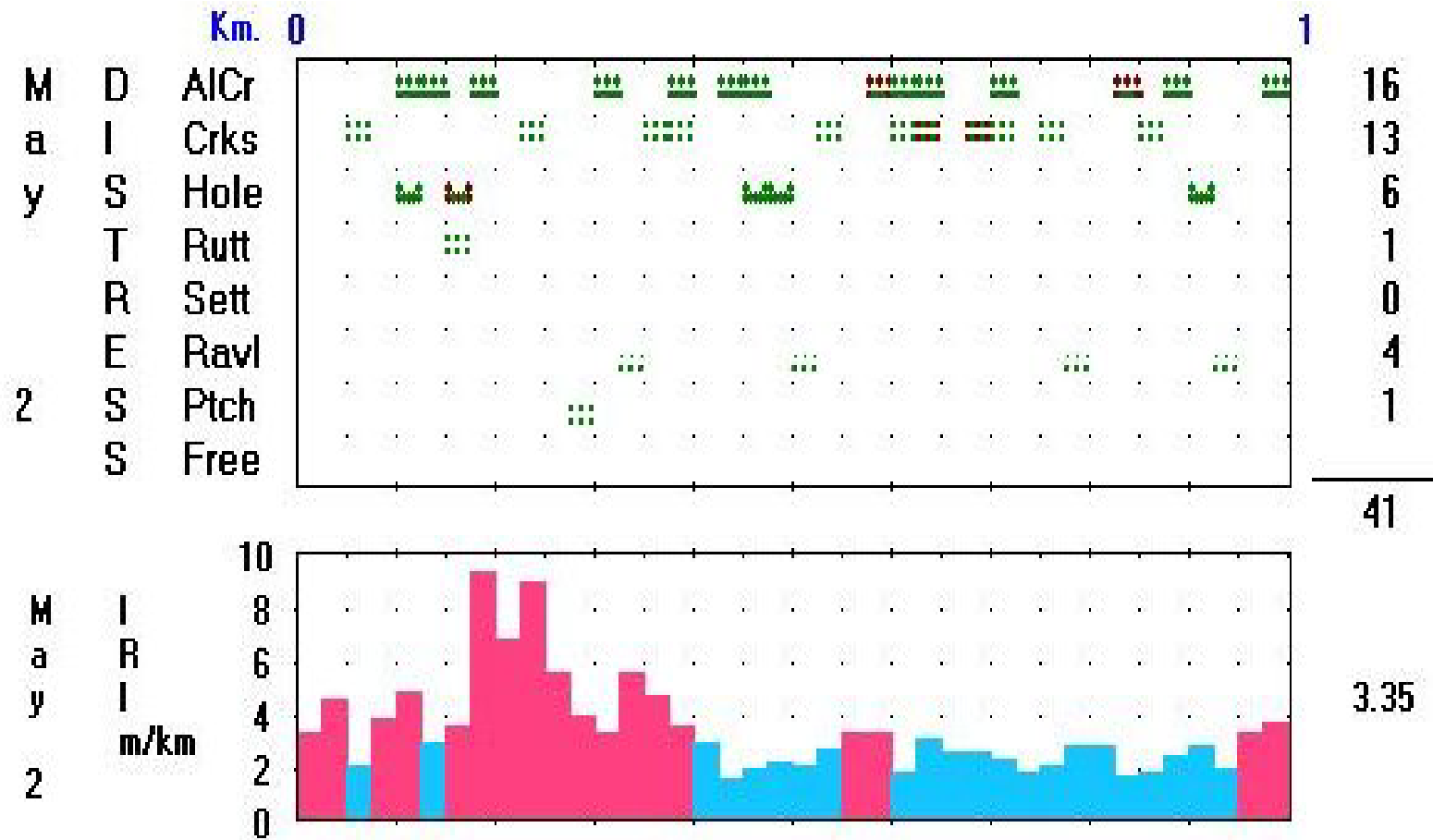


Fig. 2: Exemple du reproduction des modules des couches en béton armé et/ou IRI adéquats dans la Zone Industrielle (est)

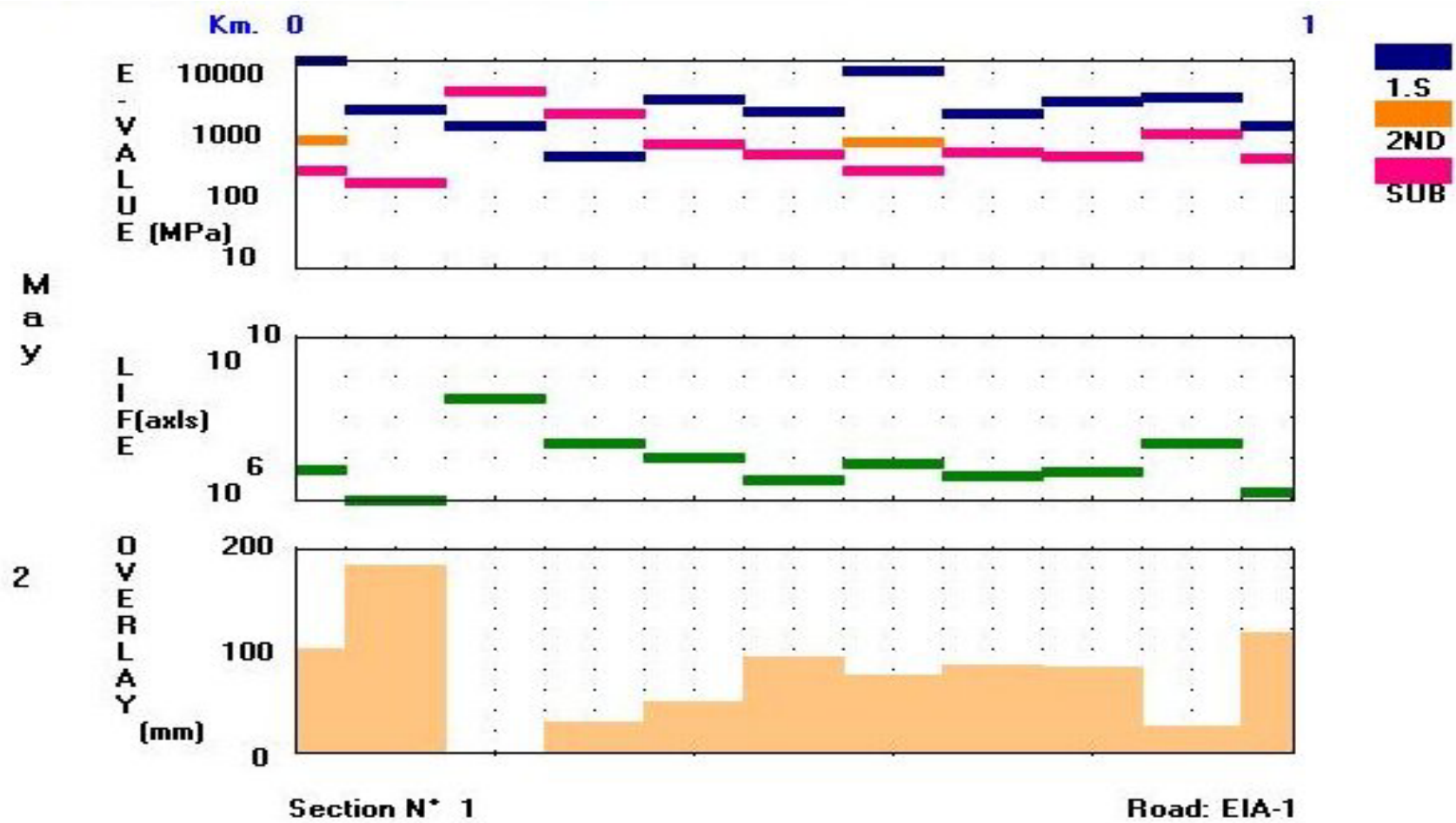


Fig.3: Exemple du reproduction des modules des couches et la durée résiduelle du pavage

6 SYSTEME DE GESTION DES PAVAGES

Le Système de Gestion des Pavages est conçu pour fournir les renseignements suivants:

- Evaluation des Conditions des Pavages (PCR)
- Indice de la Qualité des Pavages (PQI)
- Coûts Prévisionnels des Travaux d'Entretien
- Comparaison entre les différentes Stratégies de Gestion des Pavages

6.1 Evaluation des Conditions des Pavages et Indice de la Qualité des Pavages

Le niveau de qualité des pavages est défini par le logiciel RO.MA. à l'appui des paramètres superficiels et structuraux suivants:

- IRI (mm/m)
- Indice de Contrainte/km
- Durée Résiduelle du Pavage (fatigue) (ans)
- Coefficient de la Force Latérale (coefficient de la résistance au glissement) (inutilisé dans ce cas)

Pour chacun des susdits paramètres, on effectue et exprime l'Evaluation des Conditions des Pavages (PCR) pour chaque section routière homogène, à travers l'échelle d'évaluation de 0 à 100 (zéro est la PCR la plus basse et 100 est la plus élevée).

Le logiciel RO.MA. utilise la série de valeurs suivante pour $PCR_i=0$ et $PCR_i=100$:

PCR_i	Paramètre du pavage	PCR=0	PCR=100
1	IRI	4	0.7
2	INDICE DE CONTRAINTE/KM	120	0
3	SFC (Coefficient de la Force Latérale)	30	70
4	DUREE RES. FATIG.PAV. (ans)	2	15

On calcule ensuite l'Indice de Qualité du Pavage (PQI) d'après la valeur moyenne pondérée suivante de PCR_i :

$$PQI = \sum PCR_i * w_i \quad (i=1 \text{ à } 4)$$

où w_i est le poids de PCR_i utilisé pour calculer PQI.

Les valeurs PQI calculées par RO.MA. sont les suivantes:

- Valeur Initiale;

- Valeurs Suivantes: chaque année de la période d'étude du PMS (10 ans en l'espèce) et chaque période après un travail d'entretien
- Valeurs PQI moyennes sur la période d'Etude (10 ans en l'espèce)

L'échelle PQI est définie de la façon suivante:

PQI (0-100)	Niveau de la Qualité
0-30	<i>Très bas</i>
30-50	<i>Bas</i>
50-60	<i>Assez bonne</i>
60-80	<i>Bon</i>
> 80	<i>Excellent</i>

6.2 Stratégies d'Entretien

Le Système de Gestion des Pavages vise à choisir, parmi les différentes mesures d'entretien, la stratégie d'entretien qui minimise le montant des Frais d'Entretien et de l'Utilisateur (projet d'entretien optimal) et optimise les Profits pour l'Utilisateur, comme l'indique la Fig.4

Les Frais de l'Utilisateur et les Profits de l'Utilisateur, estimés sur un délai de 10 ans, reposent sur les facteurs suivants:

- Le retard et les frais correspondants que l'utilisateur a subis pendant les travaux d'entretien routier
- Les Frais de l'Utilisateur liés aux conditions actuelles et futures des pavages.

Les Frais d'Entretien, comme il est défini par le Système de Gestion des Pavages, sont estimés pour tout le délai d'évaluation du Système de Gestion des Pavages (10 ans), sur la base des frais d'entretien détaillés introduits par l'Opérateur.

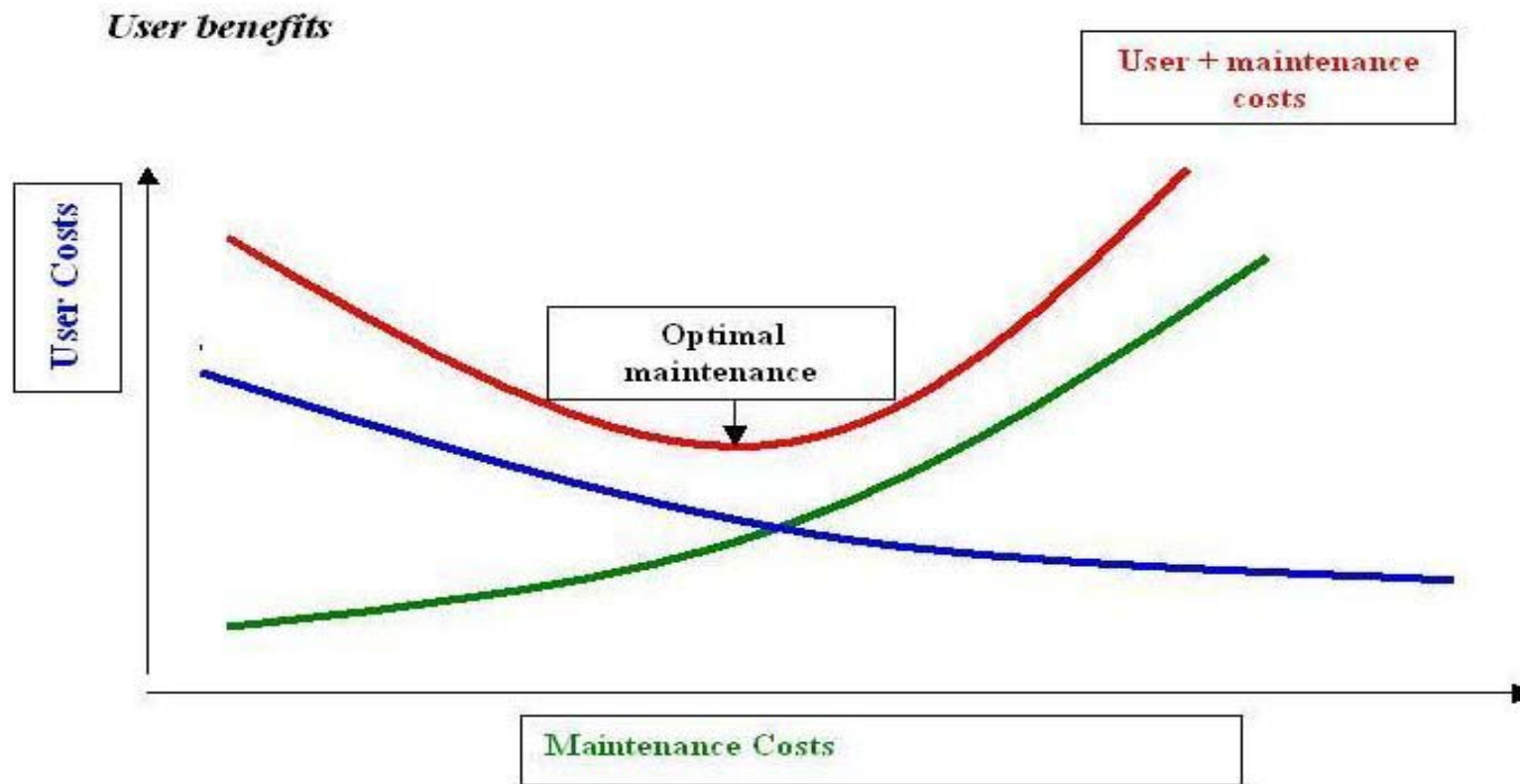


Fig. 4: Projet d'entretien optimal

Du fait que l'on a remarqué un trafic lourd exceptionnel dans la Zone Industrielle de Doha et dans quelques-unes des grand-routes envisagées par l'Etude, on a considéré que les Paramètres de Conception des Pavages adoptés par le Manuel de Conception des Grand-routes du Qatar peuvent être optimisés et adaptés à ces conditions de charge spéciales.

On a donc évalué deux stratégies d'entretien, une qui adopte les paramètres préconisés par la QHDM (Stratégie de Base) et l'autre qui introduit de nouveaux matériaux de pavage comme la Couche du Hourdis liée au Béton (Stratégie Alternative).

Stratégie de Base

Les Matériaux de Pavage doivent être comme le QHDM (Manuel de Conception des Grand-Routes du Qatar) le préconise. Cette solution doit être adoptée même si l'épaisseur de la couche en béton armé préconisée par le Système de Gestion des Pavages dépasse l'épaisseur maximale indiquée sur le QHDM. Le matériau du hourdis doit être du granulats lié à l'eau naturelle.

Stratégie Alternative

Le hourdis doit être réalisé en un Granulat Lié au Béton lorsque l'épaisseur de la couche en béton armé préconisée par le Système de Gestion des Pavages dépasse la valeur maximale indiquée sur le QHDM.

Tout le réseau routier a été analysé en termes de sections routières homogènes, par le biais du logiciel RO.MA., pour choisir les meilleures mesures d'entretien techniques et économiques sur une période de 10 ans, suivant les susdites stratégies.

6.3 Prix Unitaires des Mesures d'Entretien

Le logiciel RO.MA. permet à l'Opérateur d'entrer les Prix Unitaires des Travaux d'Entretien aptes à la Période et au Pays. Pour le premier étalonnage du Système de Gestion des Pavages, on a adopté les Prix Unitaires suivants:

Articles d'entretien	unité	Coûts (QR)
Couche d'Usure en Béton Armé	épaisseur 40 mm/m ²	16,00
Couche de Base en Béton Armé	épaisseur 10mm/m ²	2,00
Première Couche Bitumeuse	m ²	1,43
Couche Bitumeuse d'Accrochage	m ²	0,77
Hourdis Granulaire	épaisseur 10 mm/m ²	0,49
Hourdis granulaire (béton lié)	épaisseur 10 mm/m ²	0.78
Scarification de la couche en béton armé	épaisseur 10 mm/m ²	1,32

Scarification de la couche du hourdis et d'encaissement	épaisseur 10 mm/m ²	0,16
---	-----------------------------------	------

6.4 Résultats de la première évaluation du Système de Gestion des Pavages

Le logiciel RO.MA a étudié et analysé toutes les routes envisagées dans cette première Phase du Système de Gestion des Pavages et a indiqué les mesures d'entretien préconisées pour chaque section homogène.

Un exemple des Mesures d'Entretien indiquées sur les imprimés RO.MA est le suivant:

Couche d'Usure de Renforcement de 40 mm: Renforcement par une Couche d'Usure en Béton Armé de 40 mm coulée directement sur le pavage existant

Scar. 400 mm + Hourdis 150 mm + Renf. B.A.250-T5S2 mm: Scarification de 400 mm du pavage existant; coulage d'une couche de hourdis de 150 mm (granulat) et d'une couche en béton armé de 250 mm (Couche de Base + Couche d'Usure) comme le préconise le QHDM - type de pavage T5S2

Scar. 300 mm+Hourdis Bét. 200 mm+Renf. B.A. 100 mm: Scarification de 300 mm du pavage existant; coulage d'une couche de hourdis de 200 mm lié au béton et d'une couche en béton armé de 100 mm (Couche de Base + Couche d'Usure)

Les autres renseignements suivants figurent également sur les imprimés RO.MA.:

- Frais d'Entretien Totaux;
- Frais des Utilisateurs dus au retard des travaux d'entretien;
- Frais Financiers;
- Profits des Utilisateurs entraînés par l'amélioration du PQI;
- Rapport Coûts/Profits;
- Priorités (1 signifie priorité maximale). Pour ce projet, on a utilisé 5 niveaux de priorité.

Un extrait des résultats de RO.MA. figure sur les tableaux 1,2,3.

<i>N</i>	<i>Road File</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Area</i>	<i>IRI</i>	<i>IRRMw</i>	<i>IRRsW</i>	<i>Y</i>	<i>Axes</i>	<i>DS/km</i>	<i>Y</i>	<i>H1</i>	<i>E1</i>	<i>H2</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>Resid.Life</i>	<i>Reinf.</i>	<i>Y</i>	
	<i>Name</i>	<i>km</i>	<i>km</i>	<i>sqm</i>	<i>mm/m</i>	<i>mm/m</i>	<i>mm/m</i>	<i>IRI</i>	<i>ESALy/direct.</i>		<i>DS</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>	<i>mm</i>	<i>MPa</i>	<i>MPa</i>	<i>ESAL</i>	<i>mm</i>	<i>FWD</i>	
1	ALBINA-1	0.000	1.650	12045	3.96	3.12	0.85	2	320,000	48	2	70	1504	250	353	357	3.700E+05	68	2	
2	ALBINA-1	1.650	3.250	11680	4.02	2.42	0.92	2	320,000	70	2	70	3919	250	289	287	3.700E+05	88	2	
3	ALBINB-1	0.000	0.500	3650	2.90	2.55	0.64	2	920,000	22	2	70	4517	250	346	324	1.000E+06	152	2	
4	ALBINB-1	0.500	1.725	8943	3.19	2.99	0.69	2	1,970,000	47	2	70	2504	250	745	510	1.300E+06	92	2	
5	ALBINB-1	1.725	2.350	4562	2.71	1.96	0.59	2	320,000	53	2	70	1024	250	779	707	3.800E+06	34	2	
6	ALIM-1	0.000	1.000	7300	4.98	3.69	1.20	2	520,000	103	2	70	3635	250	387	365	5.600E+05	101	2	
7	ALIM-1	1.000	1.750	5475	5.33	3.83	1.25	2	520,000	59	2	70	1373	250	530	514	8.000E+05	70	2	
8	ALIN-1	0.000	0.150	1095	5.69	4.46	1.32	2	650,000	80	2	70	3007	250	419	327	6.600E+05	107	2	
9	ALINSA-1	0.000	0.500	3650	4.21	3.30	0.89	2	650,000	44	2	70	2790	250	358	358	6.600E+05	113	2	
10	ALINSA-1	0.500	1.225	5293	3.52	2.96	0.80	2	650,000	36	2	70	791	250	705	705	1.100E+06	47	2	
11	ALINSA-1	1.225	1.750	3833	2.77	2.65	0.60	2	650,000	23	2	70	2107	250	505	505	1.100E+06	93	2	
12	ALINSB-1	0.000	0.750	5475	1.89	1.82	0.40	2	260,000	11	2	70	1552	250	1002	882	2.400E+06	23	2	
13	ALKAR-1	0.000	3.350	24455	4.88	3.20	1.14	2	320,000	87	2	70	5027	250	388	317	3.600E+05	85	2	
14	ALKARB-1	0.000	0.575	4198	3.10	2.94	0.70	2	320,000	17	2	70	2177	250	703	703	1.400E+06	24	2	
15	ALKARB-1	0.575	1.725	8395	3.89	3.64	0.85	2	320,000	43	2	70	1448	250	509	499	6.100E+05	52	2	
16	ALKARB-1	1.725	2.300	4197	3.02	2.64	0.69	2	320,000	42	2	70	323	250	929	929	2.300E+06	18	2	
17	ALKAS-1	0.000	2.125	6375	4.42	2.59	0.98	2	3,940,000	32	2	72	6846	250	672	461	4.300E+06	146	2	
18	ALKAS-1	2.125	4.025	5700	4.11	2.74	0.92	2	3,940,000	25	2	72	10197	250	638	468	3.900E+06	195	2	
19	ALKAS-1	4.025	5.800	5325	4.59	3.14	1.07	2	3,940,000	40	2	72	7297	250	702	415	3.900E+06	159	2	
20	ALKAS-1	5.800	6.300	1500	5.12	4.26	1.14	2	3,940,000	26	2	72	12352	250	1173	214	6.000E+06	138	2	
21	ALKAS-1 fast lane	0.000	6.300	18900																
22	ALKAS-4	0.000	0.925	2775	3.85	2.20	0.86	2	3,940,000	38	2	72	4107	250	793	793	3.900E+06	116	2	
23	ALKAS-4	0.925	5.825	14700	4.85	3.06	1.15	2	3,940,000	43	2	72	7421	250	575	372	4.000E+06	174	2	
24	ALKAS-4	5.825	6.350	1575	4.50	2.98	1.07	2	3,940,000	44	2	72	12811	250	594	436	3.900E+06	215	2	
25	ALKAS-4 fast lane	0.000	6.350	19050																

Table 1: Sections routières homogènes

<i>N</i>	<i>Road File</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>PQI</i>	<i>Maintenance measures</i>	<i>Maint.</i>	<i>Maint.Costs</i>	<i>Maint.</i>	<i>Priority</i>	<i>PQI</i>	<i>PQI</i>	<i>Tot.Maint.Costs</i>
	<i>Name</i>	<i>km</i>	<i>km</i>	<i>INIT.</i>		<i>code</i>	<i>QR</i>	<i>year</i>		<i>After maint</i>	<i>10 ys averaged</i>	<i>QR*1000</i>
1	ALBINA-1	0.000	1.650	19	Reinf.wear course mm 40	2	209,944.4	3	3	57	67	645.5
2	ALBINA-1	1.650	3.250	13	Reinf.wear course mm 40	2	203,582.4	3	3	52	64	625.9
3	ALBINB-1	0.000	0.500	32	Scar.mm 310+Sba mm 100+Reinf.AC mm 250-T5S3	15	288,149.2	2	2	99	84	581.0
4	ALBINB-1	0.500	1.725	24	Reinf.wear course mm 40	2	155,876.5	2	2	58	68	867.6
5	ALBINB-1	1.725	2.350	32	Reinf.wear course mm 40	2	79,515.7	2	2	83	77	442.6
6	ALIM-1	0.000	1.000	6	Reinf.wear course mm 40	2	127,239.0	2	2	38	64	672.0
7	ALIM-1	1.000	1.750	16	Reinf.wear course mm 40	2	95,429.3	2	2	52	67	504.0
8	ALIN-1	0.000	0.150	11	Reinf.wear course mm 40	2	19,085.9	2	2	41	64	100.8
9	ALINSA-1	0.000	0.500	20	Reinf.wear course mm 40	2	63,619.5	2	2	48	65	336.0
10	ALINSA-1	0.500	1.225	25	Reinf.wear course mm 40	2	92,257.0	2	2	69	72	487.2
11	ALINSA-1	1.225	1.750	33	Reinf.wear course mm 40	2	66,809.2	2	2	61	66	352.8
12	ALINSB-1	0.000	0.750	66	Reinf.wear course mm 40	2	95,429.3	5	5	68	47	95.4
13	ALKAR-1	0.000	3.350	9	Reinf.wear course mm 40	2	426,250.7	3	3	44	65	2,092.7
14	ALKARB-1	0.000	0.575	39	Reinf.wear course mm 40	2	73,171.1	3	3	88	82	361.9
15	ALKARB-1	0.575	1.725	21	Reinf.wear course mm 40	2	146,324.9	3	3	64	71	723.8
16	ALKARB-1	1.725	2.300	44	Reinf.wear course mm 40	2	73,153.7	3	3	89	82	361.8
17	ALKAS-1	0.000	2.125	23	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	683,859.0	1	1	99	89	2,751.8
18	ALKAS-1	2.125	4.025	24	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	611,450.4	1	1	99	89	2,460.4
19	ALKAS-1	4.025	5.800	21	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	571,223.4	1	1	99	89	2,298.5
20	ALKAS-1	5.800	6.300	24	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	160,908.0	1	1	99	89	647.5
21	ALKAS-1 fast lane	0.000	6.300		Reinf.wear course mm 40	2	329,427.0	1	1			
22	ALKAS-4	0.000	0.925	22	Reinf.wear course mm 40	2	48,368.3	1	1	50	70	658.0
23	ALKAS-4	0.925	5.825	20	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	1,576,898.4	1	1	99	89	6,345.2
24	ALKAS-4	5.825	6.350	20	Scar.mm 510+Sba mm 200+Reinf.AC mm 350	23	168,953.4	1	1	99	89	679.8
25	ALKAS-4 fast lane	0.000	6.350		Reinf.wear course mm 40	2	332,041.5	1	1			
26	ALMANA-1	0.000	0.650	16	Reinf.wear course mm 40	2	82,705.4	3	3	55	68	409.1
27	ALMANA-1	0.650	1.150	19	Reinf.wear course mm 40	2	63,619.5	3	3	50	66	314.7
28	ALMANA-1	1.150	1.725	17	Reinf.wear course mm 40	2	73,171.1	3	3	67	72	361.9
29	ALMANA-1	1.725	2.450	16	Reinf.wear course mm 40	2	92,257.0	3	3	49	66	456.3
30	ALMANA-1	2.450	3.300	19	Reinf.wear course mm 40	2	108,153.2	3	3	77	76	535.0

Table 2: Mesures d'entretien

<i>N</i>	<i>Road File</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Tot.Maint.Costs</i>	<i>Interest Costs</i>	<i>User Costs (delay for maint. works)</i>	<i>Benefits</i>	<i>Costs/Benefits</i>
	<i>Name</i>	<i>km</i>	<i>km</i>	<i>QR*1000</i>	<i>QR*1000</i>	<i>QR*1000</i>	<i>QR*1000</i>	<i>Ratio</i>
1	ALBINA-1	0.000	1.650	645.5	0.0	71.8	27.7	25.87
2	ALBINA-1	1.650	3.250	625.9	0.0	70.7	27.0	25.76
3	ALBINB-1	0.000	0.500	581.0	0.0	259.2	83.0	10.13
4	ALBINB-1	0.500	1.725	867.6	0.0	236.7	46.1	23.96
5	ALBINB-1	1.725	2.350	442.6	0.0	169.0	54.9	11.15
6	ALIM-1	0.000	1.000	672.0	0.0	180.2	17.3	49.27
7	ALIM-1	1.000	1.750	504.0	0.0	156.1	17.8	37.18
8	ALIN-1	0.000	0.150	100.8	0.0	74.7	3.1	56.45
9	ALINSA-1	0.000	0.500	336.0	0.0	136.3	15.3	30.86
10	ALINSA-1	0.500	1.225	487.2	0.0	164.2	29.0	22.46
11	ALINSA-1	1.225	1.750	352.8	0.0	139.7	17.8	27.73
12	ALINSB-1	0.000	0.750	95.4	0.0	18.1	0.3	409.77
13	ALKAR-1	0.000	3.350	2,092.7	0.0	286.5	45.9	51.89
14	ALKARB-1	0.000	0.575	361.9	0.0	118.7	26.2	18.32
15	ALKARB-1	0.575	1.725	723.8	0.0	167.8	25.9	34.43
16	ALKARB-1	1.725	2.300	361.8	0.0	118.7	27.4	17.57
17	ALKAS-1	0.000	2.125	2,751.8	0.0	989.7	1,763.5	2.12
18	ALKAS-1	2.125	4.025	2,460.4	0.0	1,029.4	1,576.8	2.21
19	ALKAS-1	4.025	5.800	2,298.5	0.0	995.0	1,473.1	2.24
20	ALKAS-1	5.800	6.300	647.5	0.0	528.1	415.0	2.83
21	ALKAS-1 fast lane	0.000	6.300					
22	ALKAS-4	0.000	0.925	658.0	0.0	370.5	164.5	6.25
23	ALKAS-4	0.925	5.825	6,345.2	0.0	1,653.1	4,066.5	1.97
24	ALKAS-4	5.825	6.350	679.8	0.0	541.1	435.7	2.80
25	ALKAS-4 fast lane	0.000	6.350					
26	ALMANA-1	0.000	0.650	409.1	0.0	126.2	12.2	44.00
27	ALMANA-1	0.650	1.150	314.7	0.0	110.7	7.9	53.97
28	ALMANA-1	1.150	1.725	361.9	0.0	118.7	14.0	34.39
29	ALMANA-1	1.725	2.450	456.3	0.0	133.3	10.7	55.16
30	ALMANA-1	2.450	3.300	535.0	0.0	144.3	26.4	25.74
31	ALMANB-1	0.000	1.075	620.7	0.0	151.7	32.2	23.98

Table 3: Optimisation: Frais d'entretien totaux, profits des utilisateurs user et rapport coûts/profits

Le tableau suivant résume les Coûts d'Entretien Prévisionnels totaux estimés pour les 3 premières années, pour les deux Stratégies d'Entretien:

Stratégies d'Entretien	Coûts (millions QR)		Coûts totaux (millions QR)
	Zone Industrielle	Autres Routes	
Stratégie de Base	37.000	39.000	76.000
Stratégie Alternative (utilisation d'un matériau lié au béton pour la couche du hourdis)	30.000	26.000	56.000

Le coût inférieur de la Stratégie Alternative est justifié du fait qu'avec un hourdis rigide, obtenu avec le Granulat Lié au Béton, les défaillances du pavage sont réduites.

D'après l'hypothèse adoptée, la Stratégie d'Entretien Alternative permet d'économiser de 20 à 32% des coûts estimés pour la Stratégie de Base, respectivement pour la Zone Industrielle et pour les Autres Routes à Doha.

Le Système de Gestion des Pavages peut être maintenant amélioré et actualisé par les Opérateurs du Département de la Voirie pour mieux adapter les exigences du Département de la Voirie et refléter les indicateurs du marché du bâtiment qui évoluent rapidement.

7 RESUME ET CONCLUSIONS

On a mis au point avec succès un Système de Gestion des Pavages dans l'Etat du Qatar, en offrant au Département de la Voirie un outil puissant mais facile à gérer pour assister dans l'analyse des pavages routiers existants et définir les Programmes d'Entretien et de Réhabilitation futurs.

Le Système de Gestion des Pavages a été réalisé comme un Système de premier niveau à développer et étendre davantage à l'avenir. Dans cette première phase du Système de Gestion des Pavages, on a envisagé un réseau de 350 km environ de routes: 160 km situés dans la Zone Industrielle de Doha, où le trafic lourd est très élevé, et 190 km d'autres grand-routes à Doha.

Le réseau routier de Doha City faisant l'objet de cette première phase du Système de Gestion des Pavages a été divisé par sections homogènes sur la base de l'analyse des résultats de la Phase d'Evaluation des Pavages exécutée à l'appui des systèmes de relevé non-destructifs très performants qui a été apportée comme partie du Projet.

On expose et discute les résultats détaillés de l'analyse de la réalisation du Système de Gestion des Pavages pour l'Etat du Qatar.

On a évalué les paramètres superficiels et structuraux à partir des données du relevé sur le terrain effectué sur plus de 350 km de routes à Doha City et on a repéré les sections routières homogènes pour les faire analyser par le Système de Gestion des Pavages.

D'après l'analyse des données du relevé, on peut résumer ce qui suit:

- Les grand-routes dans la Zone Industrielle et quelques-unes des grand-routes à Doha sont affectées par une intensité très élevée de trafic.
- La plupart des routes dans la Zone Industrielle ont des profils longitudinaux inégaux et une contrainte superficielle moyenne.
- La plupart des Grand-Routes à Doha ont des profils longitudinaux adéquats et une contrainte superficielle réduite
- L'encaissement des routes existantes est normalement excellent avec une résistance et des modules excellents.
- Sauf quelques routes fraîchement construites, l'épaisseur des pavages en béton armé existants est très réduite et inapte à supporter les volumes élevés de trafic lourd qui se sont récemment développés. Par conséquent, la plupart des susdites routes font preuve d'une durée résiduelle du pavage très courte.

Le Manuel de Conception des Grand-Routes du Qatar (QHDM) préconise des structures différentes des pavages pour des types différents de trafic (nombre d'ESAL), dont la condition la plus rigoureuse est de 50 millions d'ESAL.

Dans la plupart des routes envisagées par cette Etude, on a relevé des charges plus élevées (jusqu'à 80 millions d'ESAL) et on a donc examiné deux Stratégies d'Entretien différentes:

- Stratégie Traditionnelle: elle suit les recommandations du QHDM, mais elle accroît l'épaisseur du Hourdis Lié à l'Eau Naturelle et les Couches en Béton Armé pour faire face aux nouvelles conditions de charge;
- Stratégie Alternative: elle remplace le Hourdis lié à l'Eau Naturelle par un Hourdis lié au Béton et réduit l'épaisseur des Couches en Béton Armé comme on l'a demandé.

Les résultats du Système de Gestion des Pavages montrent que l'utilisation du matériau lié au Béton pour le hourdis peut produire, avec le temps, de sensibles économies.

Tout l'équipement et le logiciel fournis suivant le Projet ont été livrés au Département de la Voirie et on a mis sur pied un Bureau affecté au SMS.

Un nombre de techniciens faisant partie du Département de la Voirie a été convenablement formé sur l'utilisation et l'entretien de l'équipement et sur l'utilisation du logiciel PMS. A présent, ils sont à même de développer davantage le PMS, d'actualiser les données entrées et d'étendre l'analyse à un plus grand nombre de routes au Qatar.

On envisage maintenant un autre développement du Système.