

**TECHNIQUES NOUVELLES POUR LE RENFORCEMENT DES CHAUSSEES A FORT
TRAFIC CAS DE LA VOIE DE CONTOURNEMENT DE RABAT-SALE**

M. BOUTADGHART *Directeur Régional de l'Équipement de RSZZ*

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
I. INTRODUCTION	3
II. RELEVÉ VISUEL DE LA SECTION DU PK8+500 AU PK19+000	4
III. ANALYSE FINE DU TRAFIC.....	5
IV. NATURE DES SOLS SUPPORT	6
V. STRUCTURE DE RENFORCEMENT	6
VI. DÉROULEMENT DES TRAVAUX.....	8
1. Retraitement à froid	8
2. L'enduit de cure	9
3. Enrobés à module élevé 0/14 (EME).....	9
4. Béton Bitumineux à module élevé 0/10 (BBME)	10
VII. FORMULATIONS	12
1. Retraitement à froid	12
2. Formulation de l'EME 0/14	12
3. Formulation du BBME 0/10	13
VIII. CONTRÔLE.....	13
IX. FINANCEMENT DU PROJET	14
X. COMMUNICATION	15
XI. CONCLUSIONS	15

I. INTRODUCTION

La voie de contournement de Rabat-Salé a été construite en 1997 pour assurer la liaison entre les sections d'Autoroutes Kénitra-Rabat, Fès-Rabat et Rabat-Casa .

Le Tracé de la voie de contournement prend naissance sur l'autoroute Casablanca-Rabat au niveau de l'échangeur de Hay Riad .Il se développe sur 24Km , ceinturant à l'Est les villes de Rabat et de Salé tout en desservant par deux trémies et six carrefours les quartiers périphériques de Hay Riad , Souissi , Youssoufia et Sala Al Jadida .

Depuis sa construction cette rocade a connu un trafic très dense avec un pourcentage très important de poids lourds qui ne cesse de croître au fil des années.

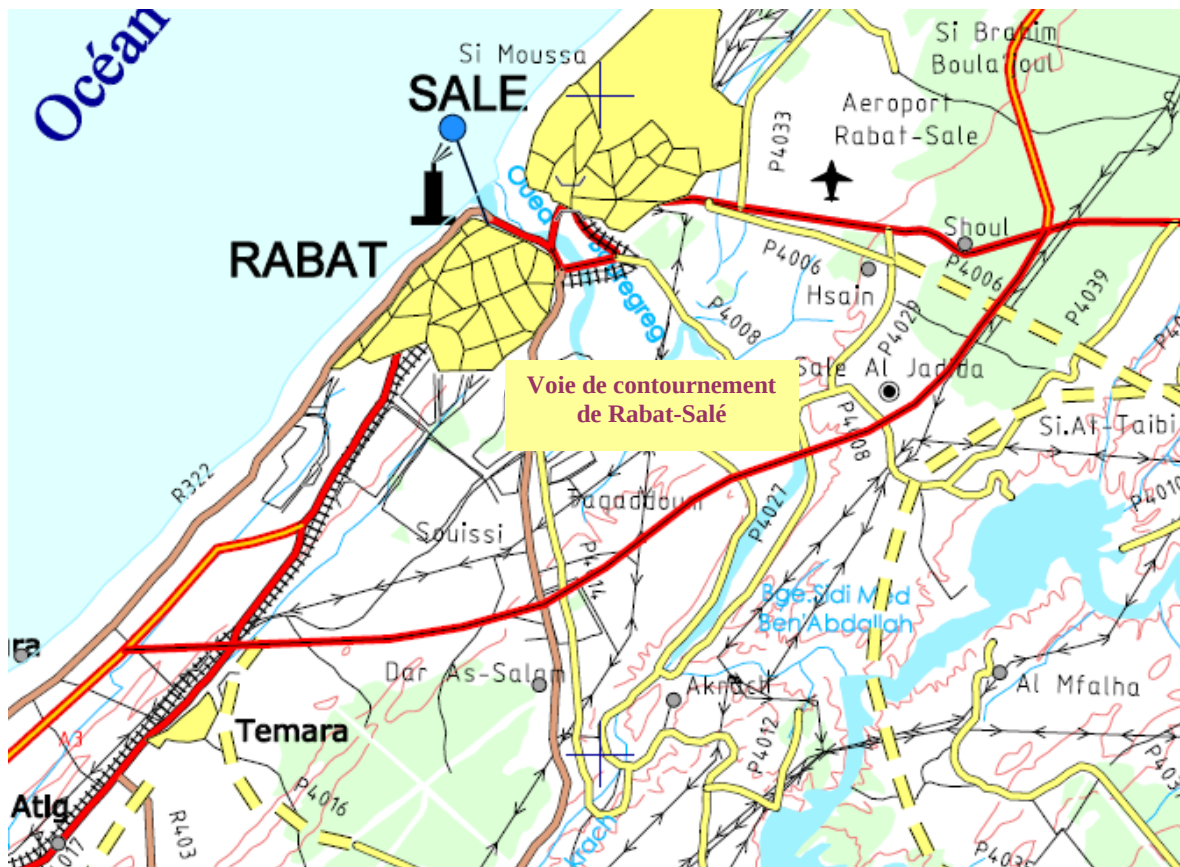
La croissance de ce trafic est due à l'importance de cet axe dans le drainage d'un trafic de transit entre les autoroutes Rabat- Fès, Rabat-Tanger et Rabat-Casa et d'un trafic urbain en provenance des agglomérations voisines.

Une analyse fine de ce trafic menée en 2003 par le LPEE à la demande de la DRCR a montré que le pourcentage des poids lourds est nettement supérieur à la moyenne nationale et que la majorité de ces poids lourds est caractérisée par des silhouettes à forte agressivité accélérant la dégradation de la chaussée.

Les enrobés traditionnels (GBB+EB) constituant à l'origine les couches de base et de roulement de cette route s'avèrent non adaptés pour l'absorption de ce type d'agressivité.

Devant ce phénomène, conjugué au trafic journalier empruntant cette voie (dépassant les 27433V/j selon le comptage de 2004), cet itinéraire commençait hélas à se dégrader avant terme prévu pour son renforcement.

Ainsi, et pour pallier à ce problème, la DRCR a préconisé pour le renforcement de la VCR en 2005, une nouvelle technique plus adaptée pour la maintenance des routes à forte agressivité en l'occurrence le BBME et l'EME, technique prouvée à l'échelon international et réputée par son module de rigidité très élevé et sa capacité de résister aux déformations permanentes notamment l'orniérage et la fatigue.



II. RELEVÉ VISUEL DE LA SECTION DU PK8+500 AU PK19+000

Section à renforcer : du PK 8+500 au Pk19+000

Longueur : 2x10,500 soit 21km

Largeur : 2x7,20m avec TPC de largeur variable avec des bordures

Le relevé visuel effectué dans le cadre de la campagne de l'étude géotechnique a permis de faire les constats suivants:

- Une fatigue généralisée au niveau de la voie lente ;
- Une forte instabilité par orniérage et fluage constitués au niveau des sorties et entrées de la trémie franchissant la RP 4014 (Station ONEP), les montées et descentes du tronçon Oulja - Sala Al Jadida .

- Présence de faïençage de grande amplitude généralisé au niveau des voies lentes à fortes pentes accompagné d'affaissements dus aux mouvements d'instabilité d'ensemble et aux tassements au niveau des franchissements des zones compressibles (vallée de Bouregreg).



Type de dégradations constatées

III. ANALYSE FINE DU TRAFIC

D'après les documents du comptage routier édité par la DRCR en 2004, le trafic moyen journalier annuel dépasse les 27433 v/j.

Pour une bonne connaissance du type des essieux circulant sur la voie de contournement, une étude fine du trafic sur la section à renforcer a été menée en mai 2003 par le CNER en se basant sur un système de pesage en marche des véhicules grâce aux câbles piézoélectrique placés au niveau des sections objet du renforcement pendant une période de 10 jours.

Les principales classes constituant ce trafic sont récapitulées dans le tableau suivant :

catégorie	Désignation	Nombre
2	Voitures	32109
3	Camionnette	5879
4	Autobus et Autocars	285
5	Camions à 2 essieux simples :3P	5110
6	Camions à 2 essieux simples :3G	2809
7	Camions semi-remorques à 4 essieux –châssis court	2958
8	Camions semi-remorques à 4 essieux –châssis long	2088
9	Camions semi-remorques à 5 essieux (2essieux simples+1 tridem)	1182

TMJA et pourcentage des poids lourds

Le tableau ci-après donne la moyenne du trafic sur la voie lente et le % des PL calculé sur la base des 10 jours

Nombre des véhicules (voie lente)	% des PL
--------------------------------------	----------

5270 v/j	>1,5T	>3,5T	>8T
	44,2	32,7	24,2

Ce tableau permet de faire les constats suivants :

- le pourcentage des poids lourds dont le PTC>1,5T est de 44,2% largement supérieur à la moyenne nationale qui est de 36% ;
- le pourcentage des poids lourds dont le PTC>3,5T est de 32,7% largement supérieur à la moyenne nationale qui est de 19% ;
- le pourcentage des poids lourds dont le PTC>8T est de 24,2% nettement supérieur à la moyenne nationale qui est de 12,4%.

Calcul des agressivités

Le tableau ci- après donne les valeurs des agressivités par rapport à l'essieu de 13T et celui de 8,2T mesurées sur la section à renforcer

Poids lourds	>1,5T	>3,5T	>8T
agressivité par rapport à 13T	1,001	1,355	1,830
agressivité par rapport à 8,2T	6,323	8,559	11,560
Moyenne Nationale par rapport à 8,2T	1,195	2,601	3,608

D'après ce tableau on constate que l'agressivité calculée sur cette section est très élevée par rapport à la moyenne nationale.

IV. NATURE DES SOLS SUPPORT

Les sondages réalisés ont mis en évidence au niveau de la section la plus dégradée la prédominance de sols type sable limoneux peu plastique. Il est à noter que ces sols sont très sensibles à l'eau et s'imbibent très facilement. Une faible variation des conditions hydriques engendre une forte variation de la portance du sol.

Au voisinage de Oued Bouregreg (zone compressible) le sol est constitué par de la vase caractérisée par une très faible portance.

V. STRUCTURE DE RENFORCEMENT

Tenant compte des résultats du relevé visuel et de la structure résiduelle sur place (30CF+25GNB+10GBB+5EB) estimée sur la base du carottage effectué par le LPEE, les travaux préconisés pour la maintenance de la chaussée (rapport 2004/161/0.127 du LPEE du 19/05/2004) sont :

- **Le rabotage de 10 cm de la voie lente** (section très dégradée).
- **Le comblement des 10cm avec 10 cm EME (0/14).**
- **Le retraitement à froid sur 12 cm** de la voie lente des sections non concernées par le rabotage et ponctuellement de certaines sections des voies rapides très dégradées ;

- un renforcement généralisé par **7 EME+ 5 BBME**.

Avantages de la solution préconisée

La solution retenue tient compte des contraintes spécifiques à cette route qui se résument comme suit :

- Présence des bordures au niveau du TPC ;
- Concentration des dégradations au niveau de la voie lente ;
- Trafic très agressif ;
- Nécessité de la rapidité dans l'exécution des travaux (axe stratégique).

Ainsi, et par rapport à la technique classique de renforcement (GBB+EB) cette solution présente les avantages suivants :

Sur le plan économique et environnemental

- Seule la voie lente est retraitée sur une largeur de 4m ;
- Pas de surcoût pour la dépose et pose de la nouvelle bordure ;
- Economie des matériaux en réduisant les épaisseurs des couches ;
- Réduction des coûts et des délais (des délais et des coûts réduits de 20%) ;
- Une réduction de la gêne causée aux usagers ;
- La sauvegarde de l'environnement (limitation des impacts indirects liés au transport des matériaux (nuisances sonores, hygiène et sécurité, économie d'énergie

Sur le plan technique

- BBME ET EME présentent une grande élasticité donc assure une amélioration de la résistance à la déformation permanente résistance à la fatigue et à l'orniérage ;
- BBME et EME présentent une réduction de la sensibilité du bitume à la température ;
- BBME et EME présentent une bonne cohésion donc un meilleur comportement sous trafic fort ;
- Le retraitement à froid permet l'homogénéisation des matériaux en place, la correction des profils longitudinaux et transversaux, limitation du rehaussement du profil de la chaussée et assure une bonne adaptation aux contraintes d'exploitation comparativement à une technique de rechargement.

VI. DEROULEMENT DES TRAVAUX

1. Retraitement à froid

Le retraitement à froid est constitué d'une machine spécifique PR750 assurant le rabotage des enrobés existants, le dosage en liant régénérant d'apport, le malaxage et la mise en cordon du produit régénéré.

La puissance de cette machine est de 750CV et la largeur du Tambour fraiseur malaxeur est de 4m.

Le cordon du produit régénéré est ensuite repris par une autre machine , un releveur de cordon qui alimente un finisseur équipé d'une table duo-tampers dite table lourde à haut pouvoir de compactage .

Le releveur de cordon est également équipé d'une rampe intégrée pour exécuter la couche d'accrochage.

Le compactage est assuré par un compacteur pneumatique de 35T et par un cylindre vibrant de 16T.

L'atelier du retraitement à froid est composé de :

- Une citerne tractée pour l'alimentation en eau de la PR750 ;
- Une citerne tractée pour le liant régénérant d'apport ;
- Une machine PR750 ;
- Un releveur de cordon avec dispositif pour couche d'accrochage ;
- Un finisseur équipé d'une table duo-tampers dite table lourde à haut pouvoir de compactage ;
- Un compacteur pneumatique de 35T;
- Un cylindre vibrant de 16T.



Atelier de rabottage

2. L'enduit de cure

Afin d'assurer un bon mûrissement du produit , un enduit de cure est appliqué tous les jours sur la section retraitée.

Le liant utilisé est le même liant de régénération pour des raisons de compatibilité.

Un sablage en grain de riz est réalisé pour prévenir tout arrachement superficiel pouvant survenir après la mise en circulation.

L'atelier d'enduit de cure est composé de :

- Une répandeuse à liant;
- Un camion gravillonneur.

3. Enrobés à module élevé 0/14 (EME)

L'EME (0/14) est constitué d'un liant modifié (Bitume pur 10/20 + lastomère) ayant pour rôle d'augmenter son pouvoir de renforcement.

La fabrication de l'EME se fait en centrale d'enrobés à une température de 160°.

Avant la mise en œuvre de l'EME, il est procédé à un nettoyage du support et à l'application d'une couche d'accrochage dosée à 500g/m².

La mise en œuvre de l'EME est réalisée en pleine largeur (voie lente+voie rapide).



Mise en œuvre de l'EME

L'atelier de fabrication et de mise en œuvre de l'EME est composé de :

- Une centrale d'enrobage de classe 2 de 150T/H;
- Un chargeur pour l'alimentation de la centrale ;
- Des camions pour le transport ;
- Une répandeuse à liant pour la couche d'accrochage ;

- Un finisseur équipé d'une table duo-tamper à haut pouvoir de compactage de 8,5m de largeur ;
- 2 compacteurs pneumatiques de 25T ;
- 2 cylindres vibrants de 16T ;
- Un camion citerne à eau pour ravitailler en eau les cylindres.



Atelier de compactage

4. Béton Bitumineux à module élevé 0/10 (BBME)

Le BBME (0/10) est un Enrobé dont le module de rigidité est très supérieur à celui d'un BB normal, apportant à la couche de roulement une résistance à l'orniérage et permettant de réduire l'épaisseur et donc le coût de la couche.

Le BBME est fait à base d'un liant modifié (COLFLEX) constitué d'une solution mère d'élastomère (COLCA) et de bitume pur 10/20.

La fabrication du BBME est réalisée en centrale d'enrobage à une température de 160°.

La mise en œuvre du BBME est réalisée en pleine largeur (Voie lente+Voie rapide) sur 7,20 m.



Mise en œuvre du BBME

L'atelier de fabrication et de mise en œuvre de BBME est composé de :

Idem que l'atelier de fabrication de l'EME

VII. FORMULATIONS

1. Retraitement à froid

Planche d'essai

L'énergie de compactage proposée par l'entreprise est de:

- 8 passes mixtes(6 vibrations+lisses)
- 8 passes à pneus.

Formulation des fraisas

- Module de richesse K : **3,75**
- %de bitume résiduel : **6,5**
- Masse volumique réelle de l'enrobé MVR: **2,457**
- %d'émulsion S60 : **3,8**
- Teneur en eau total : **5**
- % d'eau ajout : **3,8**

Rendement journalier

- Quantité : **85 828 m2**
- Durée du traitement : **19 jours**
- Rendement journalier : **4517m2**

2. Formulation de l'EME 0/14

- Gravette 10/14 : **20%**
- Gravette 6/10 : **20%**
- Gravette 4/6 : **15%**
- Sable de concassage 0/4 : **45%**
- Masse volumique réelle de l'enrobé MVR : **2,574**
- Dosage en bitume10/20 : **4,6**
- %des vides de : **=<6**

Planche d'essai

L'atelier de compactage proposé par l'entreprise pour une épaisseur de 7 cm est comme suit:

- 2 passes cylindre vibrant, 8 passes à pneus et 6 passes cylindres lisses.

Rendement journalier

Rabotage

- Quantité : **28 156 m2**
- Durée du traitement : **10j**
- Rendement journalier : **2 815 m2**

EME 0/14

- Quantité : **23 236 tonnes**

- Durée du traitement : **19j**
- Rendement journalier : **1 223 tonnes**

3. Formulation du BBME 0/10

- Gravette 6/10 : **30%**
- Gravette 4/8 : **20%**
- Sable concassé 0/4 : **50%**
- Masse volumique réelle de l'enrobé MVR : **2,531**
- Dosage en bitume 10/20 : **5,8%**

Planche d'essai :

L'atelier de compactage proposé par l'entreprise pour une épaisseur de 5cm est comme suit:

- 2 passes cylindre de 8T vibrant et 5 passes cylindres lisses
- 2 passes cylindre de 10,724T vibrant et 5 passes cylindres lisses

Rendement journalier

- Quantité : **18 391 tonnes**
- Durée du traitement : **24j**
- Rendement journalier : **839 tonnes**

VIII. CONTROLE

A titre indicatif il est présenté dans les tableaux ci-après quelques résultats des essais de contrôle de l'EME et du BBME effectués au cours des travaux.

RESULTAT DES ESSAIS DE CONTROLE DE L' EME 0/14

(Section RP 4027/RP4008 RD+RG)

Nombre de valeurs : 9

Valeurs	minimale	moyenne	maximale	Ecart type
% bitume	4,56	4,70	4,78	0,07
K	2,87	3,06	3,16	0,09
MVR	2 ,566	2,569	2,574	0,002
Compacité %	91,9	92,12	92,30	0,17
Rc	86,70	89,52	97,80	4,14
Rh/Rc	0,76	0,78	0,80	0,01
Epaisseur (mm)	67,00	77,33	89,00	9,65

% vide	5,80	6,88	8,50	0,95
Pénétrabilité (1/10mm)	40,00	41,83	45,00	1,94
Point de ramollissement °C	50,00	50,58	52,00	0,80

RESULTAT DES ESSAIS DE CONTROLE BBME 0/10

(Section RP 4027/RP4008 RG+RD)

Nombre d'essais : 9

Nombre de carottes = 40

Valeurs	minimale	moyenne	maximale	Ecart type
% bitume	5,68	5,73	5,78	0,03
K	3,58	3,66	3,78	0,06
MVR	2,54	2,54	2,54	0,00
Compacité %	94,60	94,63	94,70	0,05
Rc	152,70	156,65	158,90	2,75
Rh/Rc	0,81	0,86	0,89	0,04
Epaisseur (mm)	65	73,5	82	0,23
% vide	61,00	61,70	63,00	0,97
Pénétrabilité (1/10mm)	64,00	78,28	82,50	8,05
P de ramollissement °C	65,00	73,18	82,00	4,48
Retour élastique %	4,20	6,18	7,50	1,12

IX. FINANCEMENT DU PROJET

Coût des travaux

- Montant du marché Travaux : **32 085 476, 58 Dh**
(Sté GTR)
- Montant du marché Suivi et Contrôle : **632 442, 00 Dh**
(Sté LPEE)
- Total Opération : **32 717 918, 58 Dh**

Cadre de financement

Le projet de renforcement de la VCR a été réalisé dans le cadre de la Convention de partenariat avec le Ministère de l'intérieur (D.G.C.L) , le Conseil Régional de Rabat Salé Zemmour Zaer et le Conseil de la ville de Rabat pour l'aménagement de la voie de contournement du PK 0+000 au PK 19+000 et qui consiste en:

- Le renforcement de la voie de contournement du PK 1+700 au PK 2+500 et du PK 8+500 au PK 19+000.
- Le dédoublement de la voie de contournement du PK 0+000 au PK 1+700.
- La construction d'un ouvrage d'art sur la RN 1 et franchissant la voie ferrée.
- La signalisation Horizontale.

Le montant global de cette convention est de 61MDH

La répartition des quotes-parts est comme suit après:

- **Part du MET** : **26.000 Kdh** soit **42,6%**
- **Part du Partenaire** : **35.000 Kdh** soit **57,4 %**
 - Ministère de l'Intérieur (D.G.C.L) : 31.000 Kdh soit 50,8 %
 - Conseil de la Région de Rabat Salé Zemmour Zaer : 4 .000 Kdh soit 6,6 %

X. COMMUNICATION

Afin d'éviter tout désagrément aux usagers de la route et en vue de les informer sur les travaux d'aménagements projetés, ainsi que les itinéraires de déviation provisoires :

- Un communiqué de presse a été publié dans les différents quotidiens nationaux, et diffusé également sur Radio et Télévision.
- Un panneau d'information et de description du projet a été placé sur les lieux (entrée et sortie de la voie de contournement dans les deux sens)
- La Police de circulation et la Gendarmerie Royale ont été également avisés par correspondance.

XI. CONCLUSIONS

Vu le volume du trafic enregistré sur la voie de contournement et l'importance de son agressivité générant la dégradation rapide et fréquente de la chaussée, la maintenance de cette route a pris une nouvelle dimension qui sort des techniques classiques d'entretien.

La solution adoptée s'est appuyée sur des technologies de pointes utilisant des matériaux transformés et modifiés pour qu'ils soient adaptés aux impératifs de confort, de circulation, de sécurité, de l'environnement, des spécificités de cette voie et satisfaire les contraintes du temps et de financement.

L'expérience de la DRE sur ce chantier a permis de dégager les constats suivants :

- La capacité de l'EME et du BBME pour résister aux déformations dues à la fatigue et à l'orniérage ;
- Une importante économie des matériaux avec une réduction notable des quantités des enrobés mis en œuvre ;
- Une réduction du coût de projet de 20% ;
- Un gain de 15% sur les délais de réalisation ;

Il faut préciser par ailleurs les avantages liés à l'amélioration de l'uni, à la diminution de la gêne causée aux usagers au cours des travaux et à la sauvegarde des dépendances des sections traitées (pas de surélévation des bordures du TPC ni réhaussement du niveau de la chaussée) et la préservation de l'environnement (limitation des impacts indirects liés au transport des matériaux (nuisances sonores, hygiène et sécurité, économie d'énergie).

Il est à signaler aussi que ce chantier a permis au personnel de la DRE de capitaliser l'expérience de ces techniques innovantes, d'apprécier leurs avantages et de gérer les difficultés rencontrées lors des différentes phases des travaux.