

INFLUENCES DES MODALITÉS
DE MISE EN ŒUVRE DES ASSISES
DE CHAUSSÉE D'UNE AUTOROUTE
SUR LA QUALITÉ DE L'UNI



CHIKHI

RESUME

L'auteur décrit l'expérience vécue sur le chantier de l'Autoroute Rabat-Larache pour obtenir la qualité de l'uni requise par les dispositions contractuelles en fonction des moyens de mise en oeuvre et des modes de guidage du finisseur utilisés sur ce chantier au niveau des différentes couches de la chaussée.

Sont également passés en revue d'autres paramètres dont l'influence sur l'uni a été mise en évidence au cours des travaux.

AVANT PROPOS

Dans le cadre de l'amélioration du confort de l'usager de l'Autoroute, la Société Nationale des Autoroutes (ADM) accorde un intérêt particulier à la qualité de la surface des chaussées aussi bien celles en service que celles à construire.

C'est ainsi que chaque campagne de renforcement de l'Autoroute Rabat-Casablanca est précédée par des mesures d'uni permettant d'identifier les zones où une intervention avant renforcement est nécessaire pour améliorer l'uni (voir annexe 1).

De même, il est apparu nécessaire d'imposer lors de la réalisation des travaux de construction des autoroutes nouvelles des spécifications à atteindre en matière d'uni. Le présent document décrit la première expérience de suivi de la réalisation de l'uni sur un chantier d'autoroute en l'occurrence celui de Rabat-Larache. Sa première partie relate l'expérience du suivi de l'uni sur le Tronçon Rabat-Kénitra et les conclusions qui en ont découlé et servi de base pour la conduite des travaux sur le Tronçon Kénitra-Larache, objet de la deuxième partie de ce document.

PREMIERE PARTIE

LA SECTION RABAT-KENITRA

I- L'UNI ET SA MESURE

Toute chaussée présente des irrégularités de surface qui sont dues à des écarts de nivellement par rapport au profil en long théorique. Elles sont inhérentes, entre autres, aux imperfections du matériel de mise en oeuvre.

Ces irrégularités se traduisent pour les véhicules par des secousses avec des amplitudes plus au moins intenses et engendrent un certain nombre de risques parmi lesquels on peut citer :

- un désagrément causé au conducteur et aux passagers ;
- une perte d'adhérence qui devient dangereuse dans les zones en virage et par temps de pluie ;
- une surconsommation pour compenser l'énergie absorbée par la suspension ;
- une usure rapide des véhicules ;
- une augmentation des surcharges dynamiques et par voie de conséquence une réduction de la durée de vie de la chaussée.

Dans le langage routier, l'uni exprime l'uniformité d'une chaussée et on dit qu'un uni est bon lorsque les irrégularités sont minimales.

Jusqu'à un passé récent, les contrôles effectués, au cours des travaux, pour évaluer l'état de surface d'une chaussée se résumaient à des levés topographiques et à la mesure des flaches sous une règle de 3m.

Les levés topographiques donnent le nivellement de certains points et ne permet pas un traçage en continue du profil en long réel.

Le contrôle des flaches quant à lui dévoile les irrégularités constatées sur une longueur d'onde maximale de 3m.

Actuellement, il existe des appareils performants qui permettent de reconstituer le profil en long réel avec une grande précision. Ces appareils sont les analyseurs de profil en long.

Deux types d'analyseur de profil en long ont été utilisés sur le chantier.

- Le modèle 25 : appelé APL 25

Il roule à une vitesse de 21,6 Km/h et met en évidence la qualité de l'uni pour des longueurs d'ondes variant entre 0,3 et 15 m.

L'uni est considéré comme excellent quand la valeur CAPL est inférieure à 4, moyen entre 4 et 8 insatisfaisant entre 8 et 13 et inacceptable pour des valeurs supérieures à 13.

- Le modèle 72 : appelé APL 72.

Il prend ses mesures à une vitesse constante de 72 Km/h et donne une appréciation de l'uni après intégration sur 200 m de la section contrôlée.

Une note comprise entre 0 et 10 est attribuée à chacune des 3 longueurs d'onde évaluées (petite, moyenne et grande).

L'uni est considéré comme satisfaisant pour une gamme de longueur d'onde lorsque la note correspondant à cette gamme approche la valeur de 10.

Le tableau ci-après donne les longueurs d'onde contrôlées et le seuil de satisfaction pour une couche de roulement.

GAMME	LONGUEUR D'ONDE	SEUIL DE SATISFACTION
Petite longueur d'onde (PO)	1 à 3,3 m	6 ± 1
Longueur d'onde moyenne (MO)	3,3 à 13 m	8
Grande longueur d'onde (GO)	13 à 40 m	9

II- LES DISPOSITIONS CONTRACTUELLES

La structure de chaussée réalisée pour le tronçon Rabat-Kénitra est une structure dite souple, elle est constituée de :

- 25 cm de grave non traitée (GNB) en couche de fondation, obtenue par concassage du tout venant de l'oued Bouregreg.
- 9 cm de grave bitume améliorée (GBB) en couche de base, fabriquée par une centrale d'enrobage continue de 220 t/h à partir de granulats concassés en provenance de la carrière de Skhirat et avec un dosage en bitume 40/50 de 4,2%.
- 5 cm de béton bitumineux en couche de roulement, (EB) dosé à 5,7% de liant hydrocarboné de la catégorie des bitumes purs de classe 40/50 (l'épaisseur sur la voie Kénitra-Rabat qui est susceptible de supporter le trafic lourd des camions assurant le transport de sable est de 6 cm).

Le cahier des prescriptions particulières aux travaux de chaussée précise que l'évaluation de la qualité de l'uni longitudinal sera effectuée à l'aide de l'APL 25 et fixe le niveau des performances à atteindre sur la couche de roulement à :

- pourcentage des valeurs CAPL = 4: supérieur à 55%
- pourcentage des valeurs CAPL = 8: supérieur à 90%
- pourcentage des valeurs CAPL <13: 100%

III- LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

L'uni longitudinal de la couche de fondation et de la couche de base a une influence prépondérante sur l'uni final de la couche de roulement. La surveillance et le suivi de la qualité de l'uni de ces deux premières couches est donc une obligation dans la démarche pour la recherche de la qualité.

D'un autre côté, l'uni étant étroitement lié aux méthodes et moyens d'exécution, une campagne de mesure est programmée pour évaluer tout changement dans les moyens ou dans les méthodes de travail sur le chantier.

Ainsi, au lieu de se contenter d'un contrôle de l'uni sur la couche de roulement comme spécifié par le contrat, on a préféré intervenir dans les différentes étapes du chantier afin de constater les résultats intermédiaires de les améliorer si nécessaire. Ceci explique la modification à 3 reprises de la méthode de mise en oeuvre de la grave non traitée (GNB) qui est décrite ci-après.

On a également, inclu dans ce programme un contrôle à l'aide de l'APL 72 bien que n'étant pas prévu par les documents contractuel, et ce afin d'avoir un second paramètre d'évaluation. Ce test a l'avantage de pouvoir fournir un jugement séparé pour les petites ondes (défaut entre 1 et 3,33 m), les ondes moyennes (entre 3,33 et 13 m) et les grandes ondes (entre 13 et 40 m).

La grave non traitée (GNB) est mise en oeuvre sur 10,80 m de largeur en deux bandes au moyen de finisseurs équipés de palpeurs de réglage de nivellement automatique, ou bien d'une poutre latérale.

Sur la section n°1 du PK 1+000 au PK 15+200 pour la voie de gauche et du PK 1+000 au PK 11+000 pour la voie de droite les finisseurs étaient équipés de poutres latérales de 8 m de longueur prenant appui directement sur la surface de la couche de forme.

La grave non traitée (GNB) est étalée en une seule couche de 25 cm d'épaisseur.

Sur la section n°2 du PK 15+200 au PK 17+445 pour la voie de gauche et du PK 11+000 au PK 17+570 pour la voie de droite, la poutre latérale du finisseur est remplacée par un fil de guidage de nivellement, en maintenant le répandage en une seule couche de 25 cm d'épaisseur.

Sur la section n°3 à partir du PK 17+445 pour la voie de gauche et du PK 17+570 pour la voie de droite la mise en oeuvre de la GNB est faite en deux couches de 12,5 cm d'épaisseur chacune, le nivellement des deux couches s'effectuant par référence à un fil de guidage.

La mise en oeuvre de la grave bitume (GBB) est faite au finisseur en une seule couche de 9 cm d'épaisseur sur toute la largeur de la chaussée, le réglage en nivellement est réalisé à partir d'une référence fixe au moyen d'un fil de guidage longitudinal.

La couche de roulement en béton bitumineux est réalisée au moyen d'un finisseur en une seule couche sur toute la largeur de la chaussée. Le guidage en nivellement se fait à l'aide de deux doubles poutres latérales de 16 m de longueur prenant un appui réparti à l'avant sur la couche en grave bitume et à l'arrière sur la couche en béton bitumineux.

En plus des changements apportés aux moyens de mise en oeuvre des matériaux et aux systèmes de guidage cités ci-dessus, d'autres dispositions ont été prises sur le chantier dans le but d'améliorer l'uni. Parmi ces dispositions sont relatées ci-après les plus importantes à savoir :

a) Conscients de l'incompatibilité des spécifications sur l'uni et les tolérances en nivellement du cahier des prescriptions communes qui prévoit pour la couche de base $\pm 2,5$ cm et pour la couche de liaison $\pm 1,5$ cm, le Maître d'Ouvre et l'Entreprise ont adopté pour le nivellement les tolérances suivantes :

- Couche de fondation : $\pm 1,5$ cm.
- Couche de base : $\pm 1,0$ cm.

b) Un contrôle interne de nivellement de la couche de fondation a été instauré. Il conduit l'Entreprise à effectuer des mesures de niveau en relevant la hauteur entre la couche compactée et un fil tendu entre les piquets servant de support pour le fil de guidage du finisseur. Ainsi, il est possible de réagir sur l'atelier de mise en oeuvre dès qu'un écart est constaté.

Grâce à ce contrôle, les écarts en nivellement de la couche de fondation se trouvent inscrits dans un intervalle de ± 1 cm, ce qui explique la qualité d'uni pour les moyennes et grandes longueurs d'ondes.

c) Des consignes ont été données aux intervenants sur le chantier pour vérifier les principaux paramètres qui concourent à l'obtention d'un uni de qualité :

- la surveillance de la température des enrobés dans la trémie du finisseur et à l'arrière du dernier compacteur pour maîtriser la maniabilité du matériau lors du compactage.
- le contrôle de la pression de gonflage des pneus des compacteurs et du finisseur en conformité avec celle indiquée sur la fiche technique de ces engins.

- le respect de la fréquence de vibration du finisseur donnée par sa fiche technique afin d'assurer un précompactage efficace.

- l'arrêt du système de vibration de la table du finisseur quand ce dernier est immobilisé pour éviter un surcompactage localisé.

- le contrôle de la tension du fil de guidage pour éviter les phénomènes de vagues sur la couche mise en oeuvre.

- la mise en marche du système de vibration sur les compacteurs à rouleau uniquement lorsque leur vitesse est suffisamment élevée.

- la mise en place sur les compacteurs à pneus de jupes qui descendent jusqu'au niveau des enrobés pour maintenir la température des pneus et éviter le décollement en surface.

- le respect du plan de balayage du premier cylindre qui doit présenter un décalage d'environ 3 m entre chaque passe. Une dernière passe réalisée en diagonale efface les traces en escalier laissées par les inversions de marche du cylindre.

De plus, des tests sont effectuées en voiture derrière l'atelier de compactage pour détecter grossièrement toute anomalie perceptible de l'uni.

IV- AUTRES PARAMETRES INFLUANT SUR L'UNI

Si l'uni d'une chaussée dépend essentiellement de l'atelier de mise en oeuvre et du mode de guidage, on a pu quand même mettre en évidence un certain nombre de paramètres ayant influé négativement sur la qualité de l'uni.

Parmi ces paramètres, on trouve la marche de l'atelier de compactage des enrobés. On a constaté qu'un compactage avec un pneu gonflé à une pression insuffisante laisse des traces visibles dans le sens longitudinal de la chaussée et que des freinages et des accélérations brusques pendant le compactage engendrent des traces dans le sens transversal. Ces désordres peuvent être évités par la qualification des conducteurs et de l'encadrement ainsi que par un suivi permanent de la qualité sur le chantier.

On a également relevé des traces qui apparaissent à des distances régulières correspondant à la longueur déchargée par un camion. Il s'agit, des rebonds du

finisseur quand il arrive au contact des roues des camions. Pour remédier à ce défaut, il serait souhaitable d'utiliser un système d'alimentation continue du finisseur, solution idéale pour ce type de problème. Dans le cas d'un approvisionnement discontinu, il faut veiller à ce que le finisseur et les camions aient des conducteurs qualifiés et habitués à ce genre de travail et éviter les fréquents remplacements.

Les joints transversaux de chaussée quand ils ne sont pas réalisés avec un soin particulier participent de leur côté à la dégradation du niveau de qualité de l'uni.

La réussite d'un joint de chaussée est une affaire d'artisan qui procède par résorption progressive des dénivellations par apport et étalage manuel de matériaux tamisés au fur et à mesure du compactage, vérifiant à chaque phase, à l'aide d'une règle, le degré de planéité atteint.

La tension du fil de guidage et la distance entre les supports créent des défauts d'uni pour les longueurs d'ondes correspondant à cette distance. Ces défauts s'aggravent proportionnellement à la raideur du palpeur du finisseur et à la souplesse du fil.

V- LES RESULTATS OBTENUS

Les résultats de mesures d'uni obtenus par chaque section et sur chaque couche constitutive de la chaussée de cette section sont joints en annexe 2.

Pour le coefficient CAPL déterminé à partir des mesures effectuées à l'APL 25 l'on constate que le guidage sur fil pour la mise en oeuvre de la GNB améliore le pourcentage des valeurs = 8 et celles < 13 et n'apporte aucune amélioration pour le pourcentage des valeurs inférieures ou égales à 4, même lorsque la couche support a un pourcentage important de valeur = 8.

Dans le même ordre d'idée, la prise de référence sur une poutre roulant sur le support pour la mise en oeuvre de l'EB améliore largement les pourcentages des valeurs = 4 et = 8 et ne fait varier le pourcentage des valeurs < 13 que modestement.

On peut constater les mêmes tendances concernant les résultats de l'APL 72 qui montrent que le guidage sur fil permet d'atteindre des niveaux satisfaisants pour les moyennes et grandes longueurs d'ondes alors que les petites longueurs d'ondes ne connaissent une évolution significative qu'après la mise en oeuvre au finisseur avec poutre de guidage.

Mis à part la section où la GNB était mise en oeuvre par un finisseur guidé par une poutre de 8 m de longueur et où le guidage de l'atelier de la GBB sur fil a permis d'enregistrer une nette amélioration, ce mode de guidage pour la GBB sur les autres sections n'a pas apporté la contribution escomptée pour l'amélioration de l'uni.

A la vue de ce qui précède, il est apparu que l'exécution de la couche de fondation avec guidage sur fil et des couches de base et de roulement avec guidage par référence à une poutre, devraient permettre de résorber les défauts constatés au niveau des petites ondes et des pourcentages inférieurs ou égaux à 4 en coefficient APL 25. Ces dispositions ont été adoptées sur le Tronçon Kénitra-Larache.

DEUXIEME PARTIE

LA SECTION KENITRA-LARACHE

I- LES DISPOSITIONS CONTRACTUELLES

La structure de ce Tronçon est constituée de :

- 20 cm de grave non traitée (GNB) en couche de fondation obtenue par concassage du villafranchien de la carrière de Lalla Mimouna.
- 10 cm de grave bitume (GBB) en couche de base.
- 5 cm de béton bitumineux (EB) en couche de roulement.

Les spécifications contractuelles sont les mêmes que pour le Tronçon Rabat-Kénitra.

II- MODE DE GUIDAGE

La mise en oeuvre de la grave non traitée sur ce Tronçon est faite en 2 couches de 10 cm chacune, le nivellement des deux couches s'effectuant par référence à un fil de guidage. Vu la faible épaisseur de la première couche, elle ne reçoit directement qu'un compactage sommaire, le complément étant induit par le compactage de la deuxième couche.

Contrairement au tronçon Rabat-Kénitra où le nivellement de la GBB se faisait par référence à un fil de guidage et conformément aux conclusions tirées des résultats obtenus sur ce tronçon nous avons adopté pour le tronçon Kénitra-Larache un guidage avec deux poutres latérales de 16 m de longueur prenant un appui réparti à l'avant sur la couche de fondation (GNB) et à l'arrière sur la couche de base (GBB).

Le nivellement de la couche de roulement est obtenu par un guidage à l'aide d'une double poutre comme pour le Tronçon Rabat-Kénitra.

III- RESULTATS OBTENUS

Les résultats des mesures effectuées sur le Tronçon Kénitra-Larache sont joints en annexe 3. Ils satisfont les spécifications contractuelles et mettent en évidence une nette amélioration de la qualité de l'uni par rapport au tronçon Rabat-Kénitra, confirmant les conclusions tirées du suivi de ce tronçon.

Les valeurs obtenues pour le coefficient 4 de l'APL 25 s'inscrivent dans une marge très étroite par rapport aux spécifications. Toutefois des écarts ponctuels montrent que l'on ne peut se permettre aucun relâchement dans l'application des consignes de fonctionnement des ateliers de mise en oeuvre destinées à assurer l'obtention d'une bonne qualité de l'uni.

IV- CONCLUSION

Les résultats des mesures de l'uni font ressortir un niveau de qualité légèrement inférieur à celui escompté. Les spécifications ont été atteintes pour les coefficients APL 25 de 8 et 13, mais les valeurs pour le coefficient 4 sont inférieures à celles prescrites pour les sections n°1 et n°3 du tronçon Rabat - Kénitra.

Par ailleurs, la réalisation des travaux de construction de l'autoroute Rabat-Larache, soumis pour la première fois au Maroc à une obligation de résultats en matière de qualité de l'uni, permet de dégager des enseignements à appliquer aux prochaines réalisations, à savoir:

- La maîtrise de l'uni de la couche de roulement passe par la maîtrise de l'uni des couches qui la précèdent. Fixer des spécifications de qualité de l'uni des couches de base et de fondation serait utile pour convaincre l'Entreprise à intégrer ce paramètre dans la définition de ses moyens et de ses méthodes de travail.

- Il ne suffit pas de fixer des moyens et des méthodes performants pour prétendre atteindre des niveaux élevés d'uni. En effet, l'uni est un paramètre qui

RESULTATS DE CONTROLE D'UNI SUR L'AUTOROUTE CASABLANCA-RABAT

I- Projet de renforcement 91-92

Sens Rabat-Casablanca : du PK37+000 au PK38+000
du PK39+400 au PK44+000.

Sens Casablanca-Rabat : du PK28+800 au PK33+000
du PK34+800 au PK38+000.
du PK39+800 au PK44+000.
du PK60+100 au PK61+200.
du PK61+500 au PK62+000.
du PK62+800 au PK63+000.
du PK63+400 au PK64+000.
du PK64+800 au PK69+000.

a) Avant renforcement

+-----+				
Longueur d'onde P.O O.M G.O				
+-----+				
Note d'uni 5 5 6				
+-----+				

b) Après renforcement

+-----+				
Longueur d'onde P.O O.M G.O				
+-----+				
Note d'uni 6 9 8				
+-----+				

II- Projet de renforcement

Sens Rabat-Casablanca : du PK36+000 au PK65+960

Sens Casablanca-Rabat : du PK36+800 au PK65+960

a) Avant renforcement

Longueur d'onde	P.O	O.M	G.O
Note d'uni	4	6	5

RESULTATS OBTENUS SUR LA SECTION RABAT - KENITRA

Section n°1 :

Mise en oeuvre de la GNB en une seule couche au moyen d'un finisseur avec prise de référence sur une poutre mobile.

Résultats APL 72

COUCHE CONTROLEE	PETITES LONGUEURS D'ONDE	LONGUEURS D'ONDE MOYENNES	GRANDES LONGUEURS D'ONDE
GNB	1	3,7	5
GBB	3,5	7,1	7,2
EB	6,6	9,6	9,1
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	6 ± 1	8	9

Résultats APL 25

COUCHE CONTROLEE	CAPL = 4	CAPL = 8	CAPL < 13
GNB	0	4	56
GBB	2	53	93
EB	38,5	97,8	99,3
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	55	90	100

Section n°2 :

Mise en oeuvre de la GNB en une seule couche au moyen d'un finisseur guidé par référence à un fil.

Résultats APL 72

COUCHE CONTROLEE	PETITES LONGUEURS D'ONDE	LONGUEURS D'ONDE MOYENNES	GRANDES LONGUEURS D'ONDE
GNB	2	4	7
GBB	3,5	7,1	7,2
EB	7,2	9,6	9,4
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	6 ± 1	8	9

Résultats APL 25

COUCHE CONTROLEE	CAPL = 4	CAPL = 8	CAPL < 13
GNB	0	25	78
GBB	2	57	95
EB	58,6	98,7	100
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	55	90	100

Section n°3 :

Mise en oeuvre de la GNB en deux couches au moyen d'un finisseur guidé par référence à un fil.

Résultats APL 72

COUCHE CONTROLEE	PETITES LONGUEURS D'ONDE	LONGUEURS D'ONDE MOYENNES	GRANDES LONGUEURS D'ONDE
GNB	2	5,6	7
GBB	4	7,1	8
EB	6,5	9,4	9,4
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	6 ± 1	8	9

Résultats APL 25

COUCHE CONTROLEE	CAPL = 4	CAPL = 8	CAPL < 13
GNB	0	45	83
GBB	3,5	60	94
EB	41	94	99,7
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	55	90	100

RESULTATS OBTENUS SUR LE TRONÇON KENITRA-LARACHE

Résultats APL 72

COUCHE CONTROLEE	PETITES LONGUEURS D'ONDE	LONGUEURS D'ONDE MOYENNES	GRANDES LONGUEURS D'ONDE
GNB	2,5	5,8	8
GBB	3,7	8,2	9,1
EB	5,8	9,6	9,7

SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	6 ± 1	8	9
---	-------	---	---

Résultats APL 25

COUCHE CONTROLEE	CAPL = 4	CAPL = 8	CAPL < 13
GNB	0	50	95
GBB	30	94	99
EB	79	100	100
SPECIFICATIONS POUR LA COUCHE DE ROULEMENT	55	90	100