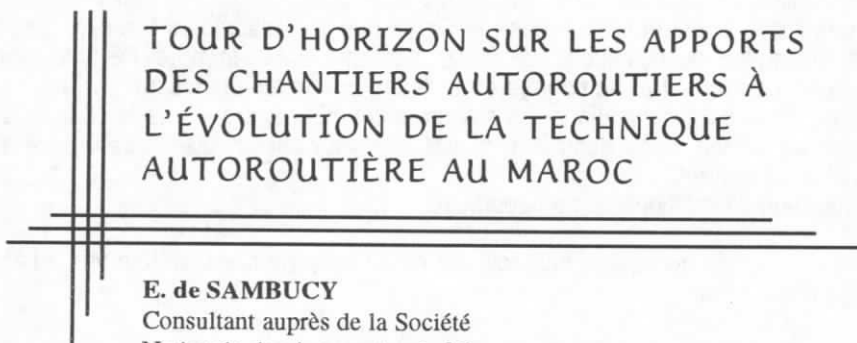


TOUR D'HORIZON SUR LES APPORTS
DES CHANTIERS AUTOROUTIERS À
L'ÉVOLUTION DE LA TECHNIQUE
AUTOROUTIÈRE AU MAROC



E. de SAMBUCY
Consultant auprès de la Société
Nationale des Autoroutes du Maroc

RESUME

La réalisation du programme autoroutier concédé à la Société Nationale des Autoroutes du Maroc a été à l'origine de l'introduction de spécifications techniques adaptées à ce type d'infrastructure et de la transposition de nouvelles techniques de construction permettant de les obtenir. Elles visent notamment à:

- . réaliser des infrastructures fiables et durables
- . rationaliser l'exécution et le contrôle des travaux
- . offrir aux usagers une qualité de service répondant à leur attente.

C'est ainsi qu'ont été adoptées les dispositions ci-après:

- . rationalisation de la conception, de l'exécution et du contrôle des terrassements par l'utilisation d'un outil méthodologique développé récemment par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées : le Guide des Terrassements Routiers ;
- . généralisation de la couche de forme assurant à la structure de chaussée un support performant et homogène en utilisant des matériaux locaux ;
- . introduction de spécifications en matière d'uni et d'adhérence de la chaussée ;
- . mise en oeuvre d'une démarche qualité reposant sur un plan d'assurance de la qualité du genre C ;
- . réalisation d'une topographie rigoureuse.

Dans ce cadre, de nouveaux matériels ont été utilisés pour la première fois au Maroc. Il s'agit notamment:

- . des compacteurs vibrants équipés de contrôlographes;
- . d'autogrades guidés par fil pour régler les assises en graves non traitées;
- . de finisseurs à haut pouvoir de compactage permettant un répandage des matériaux enrobés sur toute la largeur de la chaussée en une seule passe avec guidage par poutres latérales;
- . de centrales d'enrobage de produits bitumineux et de fabrication des bétons de ciment à haut rendement et entièrement automatisées.

La réalisation du programme autoroutier concédé à la Société Nationale des Autoroutes du Maroc a été à l'origine de l'introduction de spécifications techniques

adaptées à ce type d'infrastructure et de la transposition de nouvelles techniques de construction et de contrôle permettant de les obtenir. Elles visent notamment à:

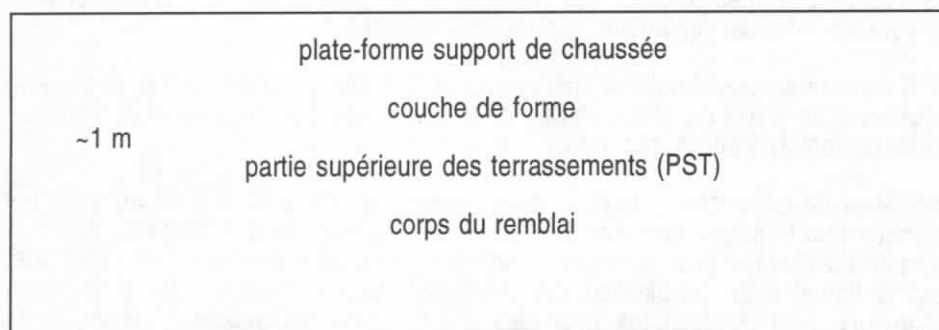
- . réaliser des infrastructures fiables et durables
- . rationaliser l'exécution et le contrôle des travaux
- . offrir aux usagers une qualité de service répondant à leur attente.

I - LA FIABILITE ET LA DURABILITE DE L'INFRASTRUCTURE

1 - LA COUCHE DE FORME: INTERFACE ENTRE L'ARASE DES TERRASSEMENTS ET LA CHAUSSEE

En construction routière ou autoroutière les aléas sont nombreux. Ils sont engendrés essentiellement par l'hétérogénéité des sols sur lesquels l'infrastructure est assise et par leur comportement en fonction des événements météorologiques.

Pour y pallier, il apparaît nécessaire d'interposer entre l'arase des terrassements et la structure de chaussée une couche intermédiaire destinée à homogénéiser les caractéristiques de portance, à court et long terme, de la plate-forme support de la chaussée. Cette tâche est dévolue à la couche de forme qui permet 'd'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée'.¹



¹ Guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme - Setra/Lcpc - sept. 1992

Les fonctions de cette couche de forme sont:

à court terme:

- d'assurer la traficabilité quasi tout temps pour la réalisation de la couche de fondation de la chaussée;
- de permettre un compactage efficace de cette couche de fondation;
- de satisfaire aux exigences de nivellement de la plate-forme support de la chaussée;
- d'assurer la protection de l'arase des terrassements vis à vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée.

à long terme:

- d'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante;
- de s'affranchir des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau;
- d'optimiser le coût de l'ensemble couche de forme - structure de chaussée.

La réalisation d'une couche de forme présente ainsi de nombreux avantages en termes de conception de l'infrastructure, de réalisation du chantier et de pérennité des ouvrages. Toutefois, elle impose des contraintes quant au choix des matériaux constitutifs dont les deux principales sont :

- l'insensibilité à l'eau caractérisée par un pourcentage de fines inférieur à 12 et une valeur au bleu de méthylène du sol (VBs) inférieure à 0,1 voire 0,2 après exécution d'une planche d'essai confirmant cette caractéristique ;
- et la résistance sous circulation des engins de chantier appréciée par le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE) et le coefficient Los Angeles (LA) dont les valeurs doivent être inférieures à 45.

L'épaisseur de la couche à réaliser étant importante (de 0.35 à 0.80 m) pour les matériaux non traités, il convient de recourir à des gisements importants situés à proximité du chantier pour diminuer notamment l'incidence du coût des transports. C'est le domaine de prédilection des matériaux locaux dont les caractéristiques mécaniques sont insuffisantes pour être utilisés dans les couches nobles de la chaussée. Les chantiers autoroutiers ont fait un large appel à ces matériaux.

Sur l'autoroute Rabat-Larache, la couche de forme a nécessité 1 300 000 m³ de matériaux provenant soit des grès dunaires concassés de Bouknadel, soit des

alluvions du Bouregreg, soit des graves du villafranchien des gîtes de Tiflet, puis de Lalla Mimouna.

Sur l'autoroute Rabat - Fès, la couche de forme a nécessité la mise en oeuvre de 2500 000 m³ de matériaux d'origines variées :

- entre Fès et Meknès, les matériaux utilisés sont des calcaires microcristallins d'origine marine très fracturés en provenance des carrières de Séfrou, Agouraï et Bittit ne nécessitant aucun traitement ;

- entre Meknès et Khémisset, les matériaux utilisés sont soit des alluvions de l'oued Beth, soit des calcaires dolomitiques concassés 0/100 ;

- entre Khémisset et Sidi Allal El Barhaoui, ce sont les graves du villafranchien des gîtes de Tiflet qui vont être prochainement utilisées.

Les caractéristiques de ces matériaux sont énumérées dans le tableau ci-après :

TRONÇON AUTOROUTIER	PROVENANCE	NATURE	CARACTERIST- IQUES	EPAISSEUR mètre	PORTANCE EV2
Rabat - Kénitra	Oued Bouregreg Tiflet Bouknadel	Alluvions Grave du villafranchien Grès dunaire	IP < 10 (*)	0,40	> 80 MPa Déflexion < 155/100
Kénitra - Larache	Zitar Lalla Mimouna	Grès dunaire Grave du villafranchien	IP < 10 (*)	0,30	> 80 MPa Déflexion < 150/100
Meknès - Fès	Séfrou Agouraï Bittit	Calcaire micro- cristallin	Vbs: 0.01 à 0.22 % < 0.08: 11 % LA: 20/22	0,50	> 90 MPa Déflexion < 130/100
Khémisset - Meknès		Alluvions siliceuses Calcaire dolomitique	VBs: 0.05 à 0.2 % < 0.08: 3 à 7 LA: 15 à 20 VBs: 0.13 à 0.2 % < 0.08: 5 à 9 LA: 16 à 22	0,50	100 à 120 MPa Déflexion < 100/100
S.A.Bahraoui - Khémisset	Meslet	Grave du villafranchien	VBs: 0.15 à 0.25 % < 0.08: 12 à 20 LA: 32 à 36	0,50	-

(*) L'IP est la seule spécification imposée pour la couche de forme de l'autoroute Rabat- Larache

Les portances obtenues supérieures à 80 MPa situent ces plates-formes dans la classe PF2 (Ev2 > 80 MPa ou module de déformation réversible > 50 Mpa) définie par le GTR, certaines sections ayant même atteint des valeurs autorisant une classification en classe PF3 (Ev2 et module de déformation réversible > 120 MPa).

Il a été ainsi possible de dimensionner la chaussée de manière uniforme sur chaque tronçon de l'autoroute Rabat-Fès en adoptant une couche de fondation en GNT d'épaisseur variable (0,15 à 0,25 m) fonction du trafic qu'il supporte, complétée par une couche de base en grave bitume enrichie 0/20 de 0,09 m d'épaisseur et d'une couche de roulement en béton bitumineux 0/14 de 0,06 m d'épaisseur.

Le coût moyen de cette couche de forme ressort à 67 DH le mètre carré. Il représente 9 % du montant des travaux de l'autoroute Rabat-Fès.

2 - LE DRAINAGE INTERNE DE LA CHAUSSEE

Si la couche de forme est de par sa conception insensible à l'eau, il n'en est pas de même de l'arase des terrassements.

Pour éviter des phénomènes de perte de portance du sol support liée à une augmentation de sa teneur en eau, il est de bonne pratique d'assurer un drainage interne pour empêcher l'accumulation ou le mouvement des eaux d'infiltrations verticales à travers la chaussée et d'infiltrations horizontales à partir du TPC, des talus et des accotements. Ce drainage est traditionnellement assuré par les fossés latéraux, dont le fil d'eau se situe en dessous du niveau de l'arase des terrassements. Cette solution couramment adoptée lorsque les chaussées sont de faible épaisseur devient inacceptable en terme de sécurité pour une autoroute où la profondeur du fossé atteindrait 1,00 m.

D'où la nécessité de recourir à un drainage interne en pied des talus de déblai et dans l'axe des TPC non revêtus. C'est ainsi que pour l'autoroute Rabat - Fès un réseau de drainage interne a été réalisé avec des tubes en polychlorure de vinyle perforés de 0.15 m noyés dans un massif drainant et disposés à 0,50 m en dessous du niveau de l'arase des terrassements. Des regards de visite à l'espacement de 60 m permettent d'assurer leur entretien. Les fossés de surface qui n'ont plus qu'un rôle de recueil des eaux superficielles sont réduits à de simples cunettes aux formes adoucies (pente de 10/1 à 4/1 et de faible profondeur) ne présentant pas un obstacle dangereux pour un véhicule qui viendrait à quitter la chaussée (cf. profil en travers type ci-contre).

Ce réseau de drainage interne longitudinal est complété par une couche drainante et des drains transversaux reliés au réseau latéral dans les zones particulièrement

sensibles que sont les transitions déblai-remblai lorsque la pente longitudinale de l'autoroute est susceptible de générer des circulations d'eau au niveau de l'arase. Le coût moyen de ce réseau de drainage ressort à 300 000 DH / km. Il représente 2,75 % du montant total des travaux de construction de l'autoroute Rabat-Fès.

II - RATIONALISATION DE L'EXECUTION ET DU CONTROLE DES TRAVAUX

1 - LA CONCEPTION ET LE CONTROLE DES TERRASSEMENTS

Les terrassements ont toujours été un domaine de la construction routière que les maîtres d'oeuvre ont du mal à maîtriser et à rationaliser.

Ils absorbent plus de la moitié du temps de réalisation et environ 40 % du coût d'une infrastructure autoroutière. Ils mettent en oeuvre des matériels à grand rendement dont les immobilisations sont très pénalisantes pour l'entrepreneur. L'optimisation de ce poste nécessite qu'il soit traité, autant que faire se peut, de manière rationnelle depuis la phase de conception jusqu'à la phase de réalisation en définissant des règles de référence permettant de déterminer en amont de la phase active des travaux toutes les opérations qu'il faudra mener pour satisfaire aux exigences du projet.

Les règles adoptées pour la construction de l'autoroute Rabat - Fès sont celles définies par le Guide Technique de Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) conçu en 1992 par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) français.

Ce document innove par rapport aux pratiques en usage au Maroc en définissant une classification des sols et des roches spécifique aux terrassements. Il codifie leurs utilisations en remblai et en couche de forme et définit une méthode de contrôle de la qualité du compactage.

Sa mise en application s'est effectuée de la manière suivante :

. En amont des travaux, réalisation d'une campagne de reconnaissance géologique et géotechnique approfondie de chaque zone de déblai et d'emprunt potentiel pour caractériser la nature et l'état des sols à extraire. Cette reconnaissance effectuée par l'entrepreneur pendant la phase de préparation des travaux a servi de base à l'élaboration du plan de mouvement des terres. Ce document soumis au visa du maître d'oeuvre est établi à partir des conditions d'utilisation des sols et roches

définies par le GTR et les contraintes particulières du chantier, tels que les obstacles limitant les transports. Avant le démarrage des travaux, l'entrepreneur connaît ainsi:

- la destination des matériaux à extraire des déblais: utilisation en remblai, arase, couche de forme ou mise en dépôt;
- la composition des ateliers d'extraction et les moyens de transport à mettre en oeuvre.

Il peut ainsi optimiser ses moyens et éviter des immobilisations de matériels résultant d'une surprise géologique.

. En cours de travaux et avant d'attaquer chaque butte de déblai, un plan d'extraction comportant notamment:

- une coupe géologique faisant apparaître les différentes couches rencontrées et leur état hydrique;
- la stratégie d'extraction, de réutilisation et de mise en oeuvre en remblai ou en dépôt provisoire ou définitif et les moyens à y affecter;
- les objectifs de compactage pour chaque type de sol identifié, accompagnés d'une grille de décision établie à partir des conditions des sols définies par le GTR .

La remise de ce plan d'extraction qui doit être en cohérence avec le plan de mouvement des terres, est un point d'arrêt nécessitant un visa du maître d'oeuvre avant de passer à l'exécution.

. Après achèvement de chaque couche élémentaire, remise au maître d'oeuvre de la fiche journalière de compactage accompagnée des disques des contrôlographes dont sont obligatoirement équipés les compacteurs.

Le contrôle de qualité du compactage s'est effectué par la détermination du coefficient Q/S (Q: volume mis en oeuvre en m³ - S: surface balayée par l'engin de compactage en m²) qui mesure l'intensité de compactage appliquée par unité de surface pour une épaisseur de couche donnée. Cette intensité est alors comparée aux valeurs limites fixées par le GTR pour le sol considéré. Ces valeurs limites sont déterminées pour satisfaire aux objectifs de densification ci-après:

- masse volumique sèche moyenne sur toute l'épaisseur de la couche compactée = 95% OPN
- masse volumique sèche moyenne en fond de couche = 92 % OPN.

Ce mode de contrôle se substitue à celui par mesures de densité, long et coûteux à réaliser et de surcroît inadapté à la majorité des sols terrassés (moins de 25 % des éléments du sol doivent être supérieurs à 20 mm pour l'essai Proctor de référence).

Cette méthode associée à la démarche d'assurance de la qualité a permis aux entrepreneurs de réaliser les terrassements en continu, sans avoir à attendre le résultat du contrôle de compacité, et de maintenir les cadences élevées prévues par le programme des travaux.

Par ailleurs, la construction des remblais de grande hauteur, supérieurs à 10 mètres de hauteur, a été réalisée en respectant les conditions de mise en œuvre définies par le GTR pour ce type d'ouvrage afin d'éviter des risques excessifs du point de vue du tassement ou de leur stabilité.

2 - LE CONTROLE DE LA QUALITE

L'obtention de la qualité des ouvrages a toujours été le souci des maîtres d'œuvre, ce qui est nouveau sur l'autoroute Rabat-Fès, ce sont les modalités de gestion de la qualité.

Le contrôle de la qualité, tel qu'il est défini par le Cahier des Prescriptions Communes applicables aux travaux routiers, est considéré comme une prérogative exclusive du maître d'œuvre. Or, la qualité finale d'un ouvrage est le fruit global de l'activité de tous ceux qui y concourent. Se trouvent donc impliqués tous les acteurs qui participent à l'acte de construire. Atteindre cette qualité suppose que le rôle des uns et des autres soit défini avec clarté et cohérence, et assumé par chacun avec professionnalisme. L'entrepreneur est responsable de la qualité des ouvrages qu'il construit, le maître d'œuvre a la prérogative de s'assurer de leur conformité aux stipulations du contrat.

Un climat de confiance vigilante doit être instauré entre ces deux acteurs pour prévenir les erreurs plutôt que d'avoir à les corriger, plus particulièrement dans les grands travaux où toute non-conformité décelée à posteriori peut avoir de graves conséquences en terme de coût et de délai pour le maître d'œuvre et de rentabilité pour l'entrepreneur.

Dans cette optique, ADM s'est donc attaché à mettre en place pour la construction de l'autoroute Rabat-Fès une démarche d'assurance qualité permettant d'atteindre cet objectif. Le système adopté est du genre C. Il implique pour l'entrepreneur comme pour le maître d'œuvre les actions ci-après:

. L'entrepreneur:

- * Une organisation de la production formalisant l'ensemble des tâches à réaliser sous forme de procédures d'exécution;
- * La mise en place d'un système de contrôle de la qualité destiné à donner au maître d'œuvre l'assurance de l'obtention de la qualité requise.

L'ensemble de cette démarche est concrétisée par le plan d'assurance de la qualité (PAQ) établi par l'entrepreneur avant le début réel des travaux. Elle nécessite la mise en place:

- d'un contrôle interne à la production ;
- d'un contrôle externe indépendant de la production, doté de son propre laboratoire et d'une cellule topographique, placés sous l'autorité d'un chargé de la qualité.

Il en résulte un coût spécifique, indépendant des charges de production, qui fait l'objet d'une rémunération indépendante. Pour l'autoroute Rabat- Fès, ce coût représente 1,63 % du montant des travaux. Il mobilise sur chaque tronçon un effectif d'une trentaine de personnes dont les 2/3 pour le seul laboratoire.

. Le maître d'œuvre

- * L'élaboration d'un schéma directeur de la qualité organisant les tâches de contrôle et les interfaces entre tous les intervenants, accompagné d'un plan de contrôle ;
- * La mise en place d'un contrôle extérieur dont les tâches essentielles sont de :
 - vérifier le bon fonctionnement du plan d'assurance de la qualité par des audits périodiques ;
 - contrôler par sondage l'efficacité du contrôle externe de l'entreprise ;
 - suivre directement les étapes majeures de la construction sanctionnée par la levée des points d'arrêts ;
 - effectuer les contrôles de conformité dont il s'est réservé l'exécution.

A cet effet, le maître d'œuvre est doté d'un laboratoire et d'une cellule topographique placés l'un et l'autre sous l'autorité d'un ingénieur et mobilisant respectivement pour chacune des Divisions de Travaux, un effectif de 6 laborantins et de 2 topographes.

Les frais du laboratoire du contrôle extérieur s'élèvent à 1,08 % du montant des travaux.

La mise en place de cette démarche qualité a été accompagnée par un consultant étranger qui a assuré la formation sur le tas des intervenants de la maîtrise d'œuvre et a évalué par la voie d'audits périodiques la pertinence et le fonctionnement du système mis en place.

Les travaux de l'autoroute Rabat- Fès n'étant pas encore terminés, il est prématuré d'effectuer une évaluation exhaustive du système de l'assurance qualité mis en place sur les chantiers. Toutefois, le fait qu'une démarche qualité du genre C ait pu être mise en place et ait fonctionné constitue un motif de satisfaction pour le maître d'ouvrage. La durabilité des ouvrages construits et le maintien de leur niveau de service seront le juge ultime de l'efficacité de celle-ci.

3 - LE CONTROLE TOPOGRAPHIQUE

La topographie joue un rôle fondamental dans la conception et la réalisation d'une infrastructure autoroutière.

Les erreurs géométriques peuvent avoir des répercussions importantes sur les plans techniques et économiques. Pour diminuer les aléas et pour se préparer à y faire face, les travaux topographiques doivent être menés avec une grande rigueur.

Les chantiers autoroutiers réalisés par ADM ont des linéaires importants: 150 km pour Rabat - Larache et 168 km pour Rabat - Fès. Sur de tels chantiers, il appartient à la topographie d'assurer une liaison parfaite de tous leurs composants souvent réalisés isolément ainsi que l'homogénéité des caractéristiques géométriques tant en planimétrie qu'en altimétrie.

A cet effet, dès que la bande d'étude a été définie, il a été procédé à la mise en place, tout au long du tracé, d'une polygonale de précision, dont les sommets espacés d'un kilomètre sont rattachés au système de coordonnées Lambert et au Nivellement Général du Maroc. Celle-ci a servi de référence pour toutes les opérations topographiques réalisées en phase d'étude (levé de bandes côtières) et en phase travaux (implantations, contrôle géométrique, détermination des quantités).

Le contrôle géométrique s'est effectué par référence à cette polygonale et à des bornes rapprochées implantées en cours de travaux pour disposer à proximité de chaque ouvrage d'un référentiel stable et facilement accessible.

Les dispositions contractuelles imposaient le respect de tolérances planimétriques et altimétriques à chaque phase de la construction, dont les valeurs dégressives sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

PHASE DE CONSTRUCTION	TOLERANCE PLANIMETRIQUE	TOLERANCE ALTIMETRIQUE	FREQUENCE DU CONTROLE
Arase des terrassements	0, + 15 cm	± 5 cm	14 points par profil tous les 30 m
Plate-forme	en plus: 5 cm en moins: 0	en plus: 3 cm en moins: 2 cm	8 points par profil tous les 15 m
Assise en GNT	en position ± 5cm en largeur 0 à 5cm	± 1,5 cm	3 points par chaussée et par profil tous les 10 m
Couche de base en GB	en position ± 3cm en largeur 0 à 5cm	± 1 cm	3 points par chaussée et par profil tous les 10 m
Couche de roulement en BB	en position ± 3cm en largeur 0 à 5cm	non spécifiée	1 profil tous les 30 m

Le contrôle de ces tolérances a été effectué de manière systématique par l'entrepreneur dans le cadre du contrôle externe, aux fréquences fixées par le contrat. Le maître d'oeuvre dans le cadre du contrôle extérieur s'assurait de la fiabilité des résultats obtenus par l'entrepreneur en réalisant des contrôles inopinés. A cet effet, une cellule topographique dirigée par un ingénieur-géomètre assisté de 2 techniciens spécialisés a été constituée pour chaque tronçon de l'autoroute Rabat - Fès.

Moyennant ces dispositions et un travail planifié et rigoureux des topographes, les travaux ont pu être menés sans surprise et aléa notables imputables à des erreurs géométriques.

III- LA QUALITE DE SERVICE

Une infrastructure routière est de qualité si elle répond à l'attente des usagers évaluée en termes d'efficacité, de sécurité et de confort de leurs déplacements. Dans ce qui suit l'on s'intéressera plus spécialement aux caractéristiques de l'infrastructure qui ont une influence sur la sécurité et le confort.

1 - INCIDENCE DE L'UNI DE LA CHAUSSEE

Le confort du conducteur et des passagers est essentiellement lié à la régularité de la surface de roulement de la chaussée et plus particulièrement de son uni longitudinal.

Les défauts de surface sont la cause de désagréments provoqués par les oscillations de la 'caisse' du véhicule sous l'effet des irrégularités de grandes longueurs d'ondes (11,3 à 45 m) et par les vibrations du volant et du plancher engendrées par les irrégularités de courtes longueurs d'ondes (0,7 à 2,8 m).

De même les défauts d'uni contribuent à aggraver le risque d'accidents lorsque les sollicitations dynamiques appliquées aux véhicules en freinage ou en accélération transversale sont anormalement élevées.

Il est admis que les irrégularités de petite longueur d'onde (0,7 à 2,8 m) ont des incidences sur la tenue de route dans les virages ou lors des manœuvres de dépassement, rabattement et ralentissement. Les irrégularités de moyenne longueur d'onde (2,8 à 11,3) exercent leur influence lorsque les vitesses pratiquées sont élevées.

De plus les irrégularités de la chaussée ont une incidence sur le coût de fonctionnement des véhicules, en termes de consommation et d'usure.

Il résulte de ces effets que l'amplitude des défauts d'uni acceptable pour une infrastructure dépend de leur longueur d'onde, mais aussi de la vitesse pratiquée, de la longueur du parcours et du type de véhicule.

C'est pourquoi on est plus exigeant pour une autoroute que pour une route de rase campagne.

Les normes retenues pour l'autoroute Rabat-Fès sont les suivantes

:

- 70 % des valeurs CAPL 25 = 4
- 90 % des valeurs CAPL 25 = 8
- 100 % des valeurs CAPL 25 = 13

Les pourcentages du CAPL 25 aux seuils de 13 et à 8 sont ceux appliqués en France pour les travaux neufs autoroutiers. Le pourcentage du CAPL 25 au seuil de 4 est supérieur à celui appliqué en France pour les autoroutes non concédées (55 %), tout en demeurant inférieur de 5 points à celui appliqué par les sociétés concessionnaires.

SPECIFICATIONS D'UNI EN INDEX CAPL 25

DESIGNATION DE L'INFRASTRUCTURE	POURCENTAGES MINIMAUX AUX SEUILS DES CAPL		
	= 4	= 8	= 13
Autoroutes françaises non-concédées	55	90	100
Autoroutes françaises concédées	75	95	100
Autoroute Rabat - Larache	55	90	100
Autoroute Rabat - Fès	70	90	100

Pour les obtenir, ADM a appliqué une démarche progressive qui commence par le suivi des caractéristiques de l'uni dès la base de la structure de chaussée.

Couche de fondation

Au niveau de l'assise de fondation en grave naturelle non traitée (GNT 0/31,5), le contrat impose à l'entreprise de réaliser le réglage par la méthode. Ce scalpage est réalisé au moyen d'un autograde guidé par fils de chaque côté de la chaussée.

La machine qui est de grande taille et de forte puissance, sa masse est voisine de 50 tonnes, intervient après la mise en oeuvre par un atelier normal de répandage et de compactage. Ce répandage s'effectue en appliquant une surépaisseur de l'ordre de 3 à 4 cm de matériaux. Le tandem avant de la machine constitué d'une fraise et d'un bouclier, prédécoupe les matériaux.

Le tandem arrière (vis + bouclier) a pour fonction le fin réglage des matériaux préréglés par le tandem avant et l'évacuation latérale des excédents de matériaux qui sont conservés sur place pour constituer la bande d'arrêt d'urgence. La maîtrise de cette machine permet d'obtenir une précision de +/- 5 mm par rapport aux côtes du projet.

Pour y parvenir l'équipe de mise en œuvre doit être bien formée et stable et l'organisation du chantier rigoureuse. En effet, compte tenu de l'encombrement de la machine et des contraintes de transfert qui en résulte, il est nécessaire que sa marche ne soit pas entravée par des discontinuités dans les travaux dus principalement à la présence d'ouvrages transversaux inachevés (PS, PI, OH, etc.).

Pour l'autoroute Rabat-Fès, les exigences de nivellement et d'uni au niveau de la couche de fondation sont les suivantes :

- nivellement: - 95 % des points compris entre +/- 1,5 cm de la côte théorique
- uni longitudinal: - 70 % des valeurs CAPL 25 = 8
- 100 % des valeurs CAPL 25 = 13

Les valeurs d'uni n'ont pas été systématiquement obtenues. La cause principale des non-conformités étant due à une mauvaise mise en place des fils de guidage (écart trop important des potences, potences inadaptées, tension du fil insuffisante, etc.). Les valeurs supérieures à 13 étaient localisées et reprises. Quant aux valeurs supérieures à 8, elles étaient corrigées lors des couches suivantes.

Couche de base

La couche de base en grave bitume enrichie 0/20 est mise en œuvre au finisseur à chenilles à haut pouvoir de compactage travaillant en pleine largeur de la chaussée. Le réglage s'effectue par référence à une double poutre latérale d'au moins 14 m de longueur. L'alimentation du finisseur est effectué par 'jet direct' (déversement direct dans la benne du finisseur par les camions ravitailleurs).

Les spécifications imposées sont :

- en nivellement : 95 % des points compris entre +/- 1 cm de la côte théorique
- uni longitudinal : - 60 % des valeurs CAPL 25 = 4
- 80 % des valeurs CAPL 25 = 8
- 100 % des valeurs CAPL 25 = 13

Les pourcentages aux seuils de 8 et 13 sont obtenus sans grande difficulté. Par contre, celui au seuil de 4 nécessite une parfaite maîtrise de l'atelier de répandage et de compactage par l'équipe qui en assure la conduite, notamment :

- l'utilisation de camions à grande capacité pour limiter les arrêts du finisseur à chaque changement de camion ;
- l'alimentation régulière du finisseur pour éviter les arrêts prolongés induisant aux reprises un refroidissement de l'enrobé avant son compactage ;

- un précompactage des matériaux par la table du finisseur aussi élevé que possible pour minimiser le risque de dégradation de l'uni lors du compactage ;

- un plan de balayage des compacteurs assurant une couverture homogène de la surface sans retard par rapport au finisseur.

Couche de roulement

La couche de roulement en béton bitumineux semi-grenu 0/14 ou 0/12,5 est mise en œuvre en pleine largeur à vis calée, sauf dans les sections où les spécifications de la couche de base n'ont pas été atteintes. Dans ce cas, elle est tirée à la poutre. Les spécifications imposées sont celles indiquées ci-dessus. Elles ont une valeur contractuelle. Leur non-satisfaction est sanctionnée par une réfaction de prix.

Le respect des spécifications est évalué globalement pour chaque voie de circulation en appliquant une tolérance de 3 % pour chaque pourcentage passant, tenant compte de l'écart type de répétabilité et de reproductibilité de la mesure.

Les résultats connus à la date d'établissement du document sont les suivants :

DESIGNATION DE L'INFRASTRUCTURE	POURCENTAGES MINIMAUX AUX SEUILS DES CAPL Moyenne des 4 voies		
	= 4	= 8	= 13
Autoroute Rabat - Kénitra (*)	40,9	92,6	99,2
Autoroute Kénitra - Larache (**)	72	98,7	99,6
Autoroute Rabat-Fès - tronçon 3A (moyenne des voies)	64,8	96,3	99,6
Autoroute Rabat - Fès - tronçon 3 B (résultat partiel)	55,5	96,5	98,7

(*) mise en œuvre effectuée au finisseur en une couche.

(**) mise en œuvre effectuée au finisseur en 2 couches successives.

Les spécifications aux seuils de 8 et 13 ont été obtenues sans difficultés. Au seuil de 4, le pourcentage des valeurs au dessous de ce seuil est supérieur, sauf pour la section Rabat- Kénitra, à la valeur spécifiée (55 %) pour les autoroutes françaises non-concédées, mais il demeure inférieur à celui plus exigeant de 70 % fixé par le contrat pour l'autoroute Rabat-Fès. Il est prématuré de tirer des enseignements concernant les dispositions à prendre pour améliorer l'uni dans la gamme des petites longueurs d'onde. Une analyse fine des résultats obtenus devra être faite pour

préciser notamment le mode de mise en oeuvre de l'assise en GNT qui paraît avoir une incidence décisive sur l'uni final.

2 - INCIDENCE DE L'ADHERENCE DE LA CHAUSSEE

L'adhérence d'un revêtement est sa capacité à mobiliser des forces de frottement au contact pneu-chaussée. Elle permet au véhicule de conserver à tout moment la trajectoire désirée notamment en virage, de limiter la distance de freinage et d'arrêt d'urgence tout en facilitant la récupération du véhicule en cas de fausse manœuvre. C'est donc un facteur primordial pour une bonne sécurité.

Si sur une chaussée sèche, le niveau d'adhérence est en général satisfaisant, il n'en est pas de même sur une chaussée humide, la présence d'eau affecte cette adhérence en créant un film entre la gomme du pneumatique et le granulat de la chaussée. Pour y pallier, l'on cherche à obtenir une surface de roulement présentant :

- une bonne macrotexture (irrégularités de dimensions horizontales comprises entre 0,5 et 50 mm et de dimensions verticales comprises entre 0,2 et 10 mm) facilitant l'évacuation de l'eau interposée entre le pneumatique et la chaussée ;
- une bonne microtexture (aspérités de dimensions horizontales comprises entre 0 et 0,5 mm et de dimensions verticales comprises entre 0 et 0,2 mm) assurant la rupture du fil d'eau résiduel sous le pneumatique.

Au Maroc, le nombre de jours pluvieux n'est pas négligeable. Il est d'environ 77 jours pour la région de Meknès. Il n'est cependant pas suffisamment important pour générer un comportement de prudence des usagers sur chaussée mouillée car les précipitations y sont de courtes durées. Il importait donc pour assurer une bonne sécurité, en tout temps, sur une infrastructure où l'usager est réputé pratiquer une vitesse élevée, de rechercher une texture de surface alliant une bonne macrorugosité et une bonne microtexture.

Obtention de la macrotexture

C'est ainsi qu'ADM a été conduite à introduire dans les contrats une spécification de macrotexture exprimée en terme de hauteur au sable (HSv). La valeur spécifiée est de :

- valeur moyenne par lot de 1000 ml: = 0,7 mm
- valeur minimale en tout point: = 0,4 mm

Pour respecter ces valeurs, elle a recommandé aux entreprises de recourir à une formulation de béton bitumineux semi-grenu 0/14 au lieu du 0/10 initialement prévu par le contrat avec une légère discontinuité au niveau de la 2/6. Par ailleurs le coefficient d'aplatissement des granulats a été réduit de 5 points, soit 15 pour le 10/14 et 20 pour le 2/6 et la 6/10.

Les hauteurs au sable obtenues pour les tronçons achevés au début 1998 de l'autoroute Rabat - Fès entre Fès et Meknès sont les suivantes:

AUTOROUTE RABAT - FES	VALEUR MOYENNE DE HSV par lot de 1000 ml	VALEUR MINIMALE DE HSV
Tronçon 3 A	0,62 à 0,75	0,46
Tronçon 3 B (résultat partiel)	0,69 à 0,75	0,40

Obtention de la microtexture

L'action du trafic tendant à réduire de plus en plus rapidement la rugosité initiale par usure des arêtes et polissage, il est nécessaire de recourir à des granulats résistant au polissage pour conserver durablement leur surface rugueuse.

La spécification imposée pour les granulats est d'avoir un coefficient de polissage accéléré (CPA) supérieur ou égal à 0,50 avec possibilité d'une compensation de 5 points entre LA + MDE et 100 CPA. Le respect de cette spécification a été obtenu en recourant à des roches d'origine volcanique ou alluvionnaires à dominance siliceuse présentes sur les sites.

AUTOROUTE RABAT - FES	NATURE DES GRANULATS	VALEUR DU CPA
Tronçon 3 A	basalte de Sebaa Aïoun	0,52
Tronçon 3 B	basalte de Sebaa Aïoun	0,52
Tronçon 2	alluvions de l'oued Beth	0,45 à 0,55 (*)

(*) la compensation de 5 points entre LA + MDE et 100 CPA est applicable à ces granulats

Pour les autoroutes anglaises, américaines et canadiennes la valeur exigée pour le CPA est de 0,65. Elle est de 0,50 pour les autoroutes françaises.

3 - EVALUATION DE LA QUALITE DE SERVICE

Les spécifications imposées en matière d'adhérence et d'uni de la chaussée font de l'autoroute Rabat-Fès une infrastructure sûre et confortable dans des conditions similaires à celles du réseau routier européen dont elle assure le prolongement vers l'Ouest africain.

La réalisation de l'important programme autoroutier concédé à ADM constituait un véritable défi que ses dirigeants, cadres et techniciens ont relevé en faisant appel à des techniques et méthodes permettant d'atteindre le niveau d'exigence attendu par le concédant et par les usagers.

Elle a impliqué les entreprises qui n'ont pas hésité à s'équiper d'un matériel performant et à instaurer une démarche qualité destinée à mettre en confiance le maître d'œuvre sur leur aptitude à satisfaire les exigences contractuelles.

Les prestataires de service, à savoir les cabinets topographiques nationaux et l'organisme public chargé des contrôles de laboratoire ont contribué efficacement à sa réalisation en adaptant leurs procédures aux contraintes imposées par le maître d'œuvre.

Un savoir faire national bénéfique à l'ensemble du secteur des infrastructures de transport a pu ainsi être acquis et valorisé.

BIBLIOGRAPHIE

- Méthode de terrassements routiers utilisée en France - Mémento - Setra/Lcpc - 1987
- Guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) Fascicules 1 & 2 - Setra/Lcpc- 1992
- Terrassements: Norme de classification des matériaux - 'Nouvelle RTR' - Note d'information n° 73 - Setra - 1992
- L'uni longitudinal des chaussées - Note d'information n° 76 - Setra - 1993
- Adhérence et texture des revêtements routiers: méthodes et moyens de mesure - Note d'information n° 77 - Setra - 1993