

INTRODUCTION DE TECHNIQUES PEU COURANTES

M. M. LAGHRARI
Directeur de l'Entreprise
Nouvelle des Ponts et Chaussées

I - INTRODUCTION

L'objet de cet article consiste à faire le point sur les techniques qui pourraient être introduites au Maroc dans un but d'apporter des solutions nouvelles à certains problèmes visant l'économie dans la construction routière : économie d'énergie, économie des devises, coût des travaux, meilleure utilisation de matériaux nationaux,...

Moyennant cette explication, on comprendra mieux le titre de ce thème ainsi que sa place dans le cadre de la Question III : routes économiques.

Parmi les techniques qui seront examinées, on trouvera :

- La chaussée en béton de ciment (pervibré)
- La chaussée en béton compacté
- La grave - ciment
- La grave - émulsion
- Le revêtement monocouche double - gravillonnage

Nous nous efforcerons de faire ressortir particulièrement les deux aspects suivants :

- L'intérêt de ces techniques pour le Maroc
- Les difficultés qui freinent l'introduction de ces techniques au Maroc.

II - LES CHAUSSEES EN BETON DE CIMENT

A - Domaines d'application

Contrairement à ce que l'on peut penser, la technique de la chaussée en béton de ciment pervibré ne correspond pas seulement aux cas de trafics forts nécessitant des structures lourdes. Actuellement le Maroc envisage même de réaliser certaines sections sur des chemins tertiaires ou des routes secondaires.

Le choix des sites appropriés à cette technique doit prendre en considération :

- L'environnement géotechnique : stabilité du terrain, naturel du sol - support, disponibilité des matériaux;
- Les conditions climatiques : écarts de températures, disponibilité de l'eau.

a. Environnement géotechnique

La chaussée rigide en béton pervibré est assez exigeante quant à la stabilité mécanique du terrain. En effet, toute dégradation due à des glissements de terrain ou à des tassements du sol - support se traduisent par des dégradations dont les conséquences sont graves et coûteuses. C'est ainsi que l'utilisation de cette technique est à éviter pour les régions suivantes :

- Le Gharb dans des zones à tirs
- Le Rif et le pré-rif en raison des glissements de terrains dans les marnes.

Par contre, la technique de la chaussée en béton est moins exigeante quant à la nature des matériaux. En effet, on peut utiliser dans la fabrication du béton des matériaux à caractéristiques mécaniques (Microdeval, LA) moyennes. Les techniques de cloutage - dénudage de surface, par exemple pour les chaussées en béton de granulats calcaires de qualité moyenne.

b- Conditions climatiques

Les températures élevées et les grands écarts de température que connaissent la plupart des régions du Maroc peuvent engendrer trois types de problèmes pour la dalle en béton de ciment :

- prise rapide du liant lors de l'exécution : l'adjonction d'adjuvants retardateurs de prise peut résoudre ce problème.
- retrait thermique excessif et fissuration fréquente et prématurée : l'utilisation de produits de cure et les traitements de surface peuvent éviter ce problème et permettre de réduire les risques de dégradations qui peuvent en résulter.
- dilatation thermique importante au niveau des joints.

B - Conception . Dimensionnement . Formulation

Une étude préliminaire du Centre National d'Etudes et de Recherches Routières (C N E R) a retenu, pour le cas du Maroc, un certain nombre de structures types. Cette étude basée sur la théorie des plaques élastiques et sur l'analyse de données réelles de trafic, sols et climat des différentes régions du Maroc conclut à l'adoption de deux solutions:

- Structure en dalles courtes (5 m) à joints transversaux goujonnés.
- Structure en dalles courtes (4 m) à joints non goujonnés.

Les épaisseurs proposées varient entre 16 et 23 cm, avec dans certains cas une couche de base en grave non traitée de 20 cm d'épaisseur. Le sol en place peut également nécessiter un traitement particulier ou l'utilisation d'une couche de forme.

Pour des largeurs supérieures à 4,5 m, il est recommandé de prévoir un joint longitudinal droit, dans le cas général, et en rainure et languette sur des sols compressibles. Des barres de liaison peuvent être adoptées dans le cas où de grandes ouvertures de joints sont à craindre.

Les joints de retrait flexion doivent avoir une profondeur d'au moins, un quart de l'épaisseur de la dalle.

Il est, par ailleurs, recommandé de n'utiliser les joints de dilatation que dans les points singuliers (carrefours, abords des ouvrages d'art,...).

Un soin très particulier doit être porté aux accotements et essentiellement, à leur fonction de drainage des eaux sous la dalle en béton. Des structures types d'accotements (Fig,...) sont proposées dans l'étude du C N E R pour les différentes régions du Maroc.

C - Techniques de mise en oeuvre

Le présent paragraphe s'intéressera particulièrement au matériel pouvant servir à la mise en oeuvre de chaussée en béton de ciment, notamment :

- Le matériel destiné à la fabrication du béton ;
- Les engins de transport et de manutention du béton ;
- Le matériel de mise en place du béton ;
- Les outils de traitement de surface et des joints.

1 - Fabrication de béton

Compte-tenu des cadences exigées pour éviter tout arrêt de bétonnage, on est amené à utiliser des centrales à béton à gros débits. On distingue généralement trois types :

- Les centrales à malaxeur à axe horizontal ; malaxage correct dans le sens vertical mais insuffisant dans le sens horizontal. Le brassage se fait par mouvement relatif des pâles par rapport au malaxeur.

- Les bétonnières portées à très gros débits : le brassage se fait par gravité et donne de très bons résultats.

Les critères de remplissage des matériaux dans le malaxeur constituent un élément important : L'introduction des matériaux en "sandwich" correspondant à la formule de béton adaptée donne, par exemple, une bonne homogénéisation du béton à la sortie.

Par ailleurs, différents appareils de contrôle permettent de surveiller les différentes qualités de béton produit, celles-ci jouant toutes un rôle important et parfois même critique contrairement aux bétons habituels utilisés dans la construction et pour lesquels on s'intéresse surtout à la résistance mécanique.

2 - Transport et manutention du béton

Contrairement à ce que l'on peut penser, l'emploi de camions malaxeurs (toupies) est déconseillé pour le transport du béton. La raison en est les temps de vidage trop longs de ces engins.

On préfère l'utilisation de camions-bennes. Les risques de ségrégation sont minimes du fait de la cohésion du béton (faible fluidité) et de la présence d'entraineurs d'airs. La mise en place se fait parfois latéralement par tapis ; dans ce cas, la ségrégation peut poser des problèmes surtout si la pente de tapis est trop forte.

3 - Mise en oeuvre du béton

Cette phase comprend plusieurs opérations dont notamment

- La mise en forme (coffrage)
- La pervibration
- La réalisation des joints
- Les traitements de surface

Traditionnellement, on utilisait un train de bétonnage comprenant plusieurs machines, chacune effectue une opération donnée

Cette méthode basée essentiellement sur des coffrages fixes en acier utilise :

- Un spreader à alimentation latérale
- Une règle vibrante
- Une poutre finisseuse diagonale comprenant généralement deux éléments oscillants dans deux sens opposés.

La mise en forme se fait sur toute l'épaisseur ou en deux couches (cas des dalles en béton précontraint ou des dalles à forte épaisseur).

L'évolution des techniques a permis l'introduction de machines à coffrages glissants qui répondent aux nouvelles exigences de fortes cadences et de bon uni.

Le principe de ces machines repose sur :

- L'intégration de plusieurs opérations, mise en forme, pervibration, talochage, lissage et même introduction automatique de goujons.
- L'utilisation d'aiguilles vibrantes puissantes permettant la pervibration de fortes épaisseurs de béton.
- L'absence de coffrages fixes.

Toutes les machines à coffrages glissants (slipform pavers ou slipform tout court) procèdent à l'homogénéisation du béton avant mise en forme au moyen d'une vis sans fin.

Le traitement de surface du béton se fait par striage transversal au moyen d'une brosse métallique manuelle ou montée sur un train mobile.

Une technique nouvelle de traitement de surface a fait son apparition plus récemment : il s'agit du cloutage - dénudage qui consiste à répandre sur le béton frais des granulats de très bonne qualité que l'on vient dénuder par la suite partiellement par des moyens mécaniques (brossage) ou chimiques.

D'autre part, la réalisation des joints se fait :

- Soit par sciage du béton. A cet égard, le déblai pour le sciage doit être étudié soigneusement en fonction des conditions climatiques.
- Soit par moulage dans le béton frais au moyen d'un couteau spécial.

La mise en place des goujons éventuels peut se faire automatiquement (enfoncement par vibration) ou sur des berceaux fixés à la couche de base avant mise en place du béton.

D - Aspects économiques et financiers

L'étude réalisée par le C.N.E.R. permet de conclure de l'intérêt de la solution chaudière en béton de ciment (pervibré) pour un certain nombre de situations et notamment :

- Les chaussées à fort trafic (T1 sur mauvais sols (So - S1)
- Les chaussées sur mauvais sols (So), Quelque soit le niveau de trafic à condition de tenir compte du coût total de l'investissement et de l'entretien.

Par ailleurs, le Maroc, possédant une capacité de production de ciment qui dépasse de loin ses besoins de consommation et n'étant pas un pays producteur de pétrole, il est naturel qu'il développe la technique du béton qui ne peut qu'apporter une économie en devises et une meilleure utilisation du potentiel industriel existant. Il est à noter que la technique du béton de ciment peut, une fois introduite au Maroc, devenir de plus en plus compétitive du fait des amortissements des investissements et de la maîtrise grandissante de la technique qu'engendrerait son utilisation répétée.

III - BETON COMPACTE

A - Définition

Le béton compacté relève d'une technique qui se situe entre la grave - ciment et la chaussée en béton de ciment. Il s'agit en effet, de graves traitées aux liants hydrauliques pour assises de chaussées, utilisant de fortes teneurs en liants qui conduisent à des performances élevées semblables à celles du béton de ciment.

B - Formulation . Dimensionnement

Le béton compacté se distingue par les caractéristiques suivantes :

- faible teneur en eau (4 à 7%) : juste le minimum pour permettre l'hydratation du liant.
- Forte teneur en liants hydrauliques (10 à 14%) : liants spéciaux à usage routier, cendres volantes ou autres matériaux pouzzoloniques, chaux.
- granulométrie continue (0/20)
- absence de sciage des joints (fissuration libre).

Le dimensionnement des chaussées en béton compacté se fait de la même manière que pour les dalles en béton de ciment. Les caractéristiques et performances demandées doivent être identiques à celles exigées pour le béton de ciment.

Le revêtement des assises en béton compacté peut être soit un enduit bicouche, soit un monocouche double gravillonnage.

C - Techniques de fabrication et de mise en oeuvre

Le béton pour béton compacté peut être fabriqué soit en centrale à béton soit en centrale à malaxage du type utilisé pour les graves-ciment. Certaines précautions particulières doivent être prises au niveau des silos de stockage de ciment, cendres et chaux et au niveau de dosage en eau auquel le béton compacté est très sensible.

Le transport du béton se fait exclusivement en camions - bennes avec bâchage pour le maintien de la teneur en eau optimale.

Contrairement au béton de ciment, la mise en oeuvre du béton compacté ne nécessite pas de machines spéciales (slipform). Le répandage et le compactage se font au moyen du matériel routier habituel, le déroulement des opérations pouvant être le suivant :

- répandage à la niveleuse ou au finisseur en épaisseur légèrement surabondante. Les épaisseurs de couches sont généralement de 15 à 25 cm.

- ensuite, compactage partiel pour réduire le foisonnement
- puis rabotage final à l'aide d'une niveleuse
- enfin, compactage final au moyen d'un atelier comprenant un compacteur vibrant lourd et un compacteur à pneus.

Le béton compacté se fait généralement sans joints sauf pour les joints de construction (longitudinaux ou même transversaux pour les reprises de chantiers).

Le béton compacté doit immédiatement après compactage, recevoir un enduit de cure (émulsion gravillonné) pour le protéger contre la circulation et les intempéries (dessiccation).

Difficulté d'exécution

La technique du béton compacté dans le domaine routier présente quelques difficultés qu'il ne faut pas négliger. En effet, il s'agit d'une technique assez pointue notamment en raison :

- de la sensibilité à la teneur en eau qui peut conduire à des difficultés de compactage et à la ségrégation du béton ou à des chutes de caractéristiques mécaniques.

- de la maîtrise du compactage avant tout début de prise du béton.

- de l'accrochage de la couche de revêtement sur la surface du béton.

- de l'uni qui est souvent insuffisant et qu'il est difficile de corriger avec le seul enduit superficiel.

D - Aspects économiques

L'intérêt du béton compacté est qu'il peut remplacer moyennant un revêtement en enduit superficiel, la solution grave ciment plus béton bitumineux classique.

En effet, le dosage élevé en ciment du béton compacté permet d'obtenir des performances élevées de l'assise entraînant la suppression de la couche de béton bitumineux et son remplacement par un simple enduit superficiel.

D'autres gains se situent également au niveau :

- des quantités d'agrégat à produire (20 à 30% en moins)

- de l'exigence en qualité des agrégats puisqu'il y a suppression des matériaux nobles nécessaires à la fabrication du béton bitumineux.

- des terrassements à effectuer en raison de la diminution des épaisseurs.

l'intérêt, pour le Maroc, n'est pas difficile à prouver aussi bien sur le plan énergétique, qu'au point de vue de l'économie en devises car il permet de réduire l'utilisation des produits bitumineux et de mieux utiliser l'industrie cimentière marocaine.

IV - GRAVE - CIMENT

A - Définition et domaines d'application

La fabrication en centrale d'une grave traitée au ciment permet d'obtenir, en respectant des proportions bien définies en granulats ciment et eau, un produit appelé grave - ciment.

Ce matériau est utilisé comme **assise de chaussée**. IL peut recevoir soit un tapis d'enrobé soit simplement un enduit superficiel.

Le dosage en liant est assez faible : 3 à 5 % du poids des granulats.

La granulométrie généralement adoptée correspond à un fuseau 0/20.

B - Techniques de fabrication et de mise en oeuvre

La grave - ciment dont la fabrication se fait dans des centrales à gros débit, est mise en oeuvre par des matériels routiers courants :

- le transport se fait au moyen de camions - bennes,
- le répandage au moyen de niveleuses ou de finisseuses (cas plus rare),
- le compactage s'effectue par des compacteurs vibrants ou / et à pneus.

Les épaisseurs de répandage se situent généralement entre 18 à 25 cm et sont donc relativement élevées. Le compactage doit donc se faire avec beaucoup de soin, surtout avant tout début de prise.

C - Intérêt pour le Maroc

La technique de la grave - ciment qui se situe à mi-chemin entre les techniques souples et les chaussées très rigides en dalle de béton de ciment peut dans certains cas s'avérer compétitive.

L'introduction de cette technique au Maroc ne présente pas d'obstacles majeurs, vu que le matériel nécessaire est constitué

par les engins courants utilisés au Maroc, sauf probablement pour les centrales à béton qui doivent être à gros débits.

D'ailleurs, certaines expérimentations ont été faites ces dernières années notamment sur la R.P. 3 du côté de Kénitra et sur l'Aéroport Mohamed V à Casablanca. Ces deux expériences menées respectivement par le C.N.E.R et le L.P.E.E ont permis d'aboutir à des résultats très positifs. Toutefois, il s'avère dans les deux cas que des précautions et des dispositions particulières sont indispensables à la réussite de cette technique. On peut citer notamment la rigueur à apporter à la formulation des agrégats et les exigences au niveau de l'exécution des travaux (respect des dosages, de la teneur en eau de compactage, des délais de compactage et donc de l'organisation de l'Entreprise).

V - GRAVE - EMULSION

A - Définition

Le mélange en centrale d'une grave à granulométrie continue avec une émulsion de bitume permet d'obtenir un produit dit "grave - émulsion". L'émulsion dont le dosage se situe généralement entre 5 et 6 % du poids des granulats, procure à ces derniers la cohésion qui leur manque sans pour autant diminuer leur angle de frottement interne.

La grave - émulsion est utilisée soit en couche de fondation soit en couche de base.

B - Techniques de fabrication et de mise en oeuvre

La fabrication de la grave - émulsion se fait à froid en centrale. A la différence des graves - bitume et des enrobés, le séchage des agrégats et le chauffage du liant sont supprimés.

Le répandage se fait soit au finisseur, soit tout simplement à la niveleuse. Dans le cas du finisseur, on peut supprimer le système de chauffe. Généralement, les épaisseurs de couche varient de 8 à 12 cm.

Le compactage se fait au moyen de compacteurs courants. Toutes les dispositions particulières (jupes de compacteurs, bâches pour camions) s'avèrent inutiles.

Une attention particulière doit être portée au compactage qui doit être compatible avec le délai de rupture de l'émulsion et permettre l'élimination de l'eau contenue dans le matériau.

C - Intérêt pour le Maroc

La technique de la grave - émulsion présente de multiples avantages dont nous citons :

- L'économie d'énergie : suppression du chauffage dans tous les processus de fabrication et de mise en oeuvre, réduction du transport pour les projets à proximité des centres de fabrications des émulsions.

- Absence de la couche d'accrochage.

- Souplesse de la technique : délais plus larges entre les différentes opérations de fabrication et de mise en oeuvre, simplicité du matériel.

- Utilisation de matériaux locaux : l'émulsion peut être adaptée à la nature minérologique de chaque matériau.

- Procédé performant : grande résistance à la fissuration, meilleure adaptation aux supports déformables, bonne qualité de l'aspect de surface et surtout plus grande durée de vie en raison de la bonne absorption des vibrations engendrées par les véhicules lourds.

VI - MONOCOUCHE DOUBLE GRAVILLONAGE

A - Définition et applications

Une technique récente de revêtement superficiel est apparue avec l'enduit monocouche double gravillonnage. Cette technique consiste à appliquer sur une couche unique de liant (environ 1,4 kg/m² de bitume) une première couche de gravillons (généralement 10/14) suivie d'une deuxième couche de gravillons (6/10 généralement). Le liant utilisé peut être une émulsion ou un bitume fluxé ou un bitume - goudron.

Cette technique nécessite beaucoup de soins lors de sa réalisation : la première couche de gravillons notamment doit être d'une parfaite régularité.

La monocouche double gravillonna procure une meilleure rugosité et une meilleure drainabilité de revêtement.

Ce type de revêtement est utilisé pour les chaussées à trafic moyen ou fort.

B - Aspects économiques

L'intérêt de cette technique réside dans l'économie de liant qu'elle implique du fait de la suppression d'une couche par rapport à l'enduit bicouche généralement utilisé au Maroc. De même, un gain supplémentaire se situe au niveau des dosages en gravillons (environ 20% de moins que le bicouche.)

Des expériences récentes effectuées dans les zones sahariennes ont permis de tester différents types de revêtement dont le monocouche double gravillonnage. Ce dernier s'est avéré être celui qui présente le meilleur comportement.

VII - CONCLUSION

En guise de conclusion, je voudrais aborder la problématique de l'introduction de nouvelles techniques au Maroc et, particulièrement, dans le domaine routier.

La question est de savoir dans quelle mesure il est possible d'introduire de nouvelles techniques au Maroc soit dans d'autres pays, soit simplement par innovation et mise au point de technique propres.

On peut, par ailleurs, se demander qui des différents intervenants (Administration, Entreprise, Bureau d'Etudes ou L.P.E.E.) doit assumer le rôle de promoteur dans l'introduction de nouvelles techniques.

Avant de revenir à l'examen des atouts et des obstacles qui se présentent devant l'introduction de nouvelles techniques routières au Maroc, on peut, d'ores et déjà, affirmer que les intervenants qui, en principe, possèdent de plus de raisons ou de motivations pour introduire de nouvelles techniques au Maroc sont

- L'Administration routière qui se trouve face à des besoins résultant de contraintes nouvelles d'ordre économique, financier, politique, énergétique, réglementaire ou autres.

- L'entreprise dont les motivations peuvent être :

- * La nécessité d'être compétitive : L'innovation et la maîtrise de nouvelles techniques doivent en principe aboutir à de meilleures performances et à une avance sur ses concurrentes.

- * L'appui commercial qu'elle peut avoir au moyen des échanges avec les différents clients sur les techniques particulières qu'elle maîtrise.

Les atouts :

A vrai dire, les atouts ou, autrement dit, les circonstances favorables au développement où à l'introduction de nouvelles techniques routières au Maroc sont limités. On peut citer :

- La volonté manifeste des responsables de trouver des solutions nouvelles pour répondre aux contraintes nouvelles signalées précédemment.

- L'esprit de dialogue et d'échanges qui caractérise de plus en plus les relations entre les différents intervenants du secteur.

Les obstacles :

Malheureusement, les blocages aux résistances à l'innovation et à de nouvelles techniques routières au Maroc sont plus nombreux et de divers natures. On peut les distinguer en deux catégories :

- Les obstacles au niveau de L'Administration
- Les obstacles propres à L'Entreprise

Obstacles au niveau de L'Administration

Les entraves à l'introduction de nouvelles techniques peuvent être résumées dans les points suivants :

- Procédures administratives : il est pratiquement impossible de présenter des variantes dans le cadre des appels d'offres concernant les travaux routiers, ne serait-ce que pour une question de délai de soumission, de même, la règle du "moins disant" empêche le lancement de toute technique nouvelle même si elle apporte un avantage à moyen ou long terme.

- Réglementation technique : rigide et conçue sur la base des techniques pratiquées lors de l'établissement des dites dispositions réglementaires. Le praticien courant se maintient à la stricte application des textes et évite toute technique ou innovation s'écarter des méthodes classiques.

- Garanties : l'introduction de toute innovation de nouvelle technique comporte un minimum de risque que le praticien courant ne veut pas prendre.

- Délais probatoires longs : les techniques nouvelles nécessitent des expérimentations dont les débais probatoires indispensables sont parfois incompatibles avec la rentabilité ou l'intérêt conjoncturel de ces techniques.

Obstacles propres à l'Entreprise

L'innovation constitue un acte d'Entreprise, il n'en demeure pas moins qu'elle comporte des inconvénients que l'on peut résumer ainsi :

- un risque financier : l'investissement en recherche et mise au point de techniques est important et nécessite un acte de foi et de courage de la part de l'Entreprise.

- L'introduction de nouvelles techniques peut être contradictoire avec l'exploitation de matériels de l'Entreprise utilisée dans les travaux courants : c'est le cas, à titre d'exemple, de la technique du béton de ciment vis-à-vis des enrobés bitumineux.

- Les investissements parfois lourds nécessaires à l'introduction de nouvelles techniques sont incompatibles avec les exigences à court terme de financiers : une certaine apparition est inévitable entre les financiers d'une part et les "techniques" de l'Entreprise d'autre part.

- La situation actuelle des entreprises nationales : situation financière difficile, sous-encadrement, environnement économique et industriel défavorable empêchent la plupart de nos entreprises d'anticiper sur ce que peuvent être les techniques de demain.

En résumé, il semble souhaitable de créer rapidement les conditions favorables au développement des techniques routières au Maroc et de jeter les bases d'une dynamique nouvelle. Bien-entendu cette dynamique exige de l'Entreprise de faire preuve de plus d'initiative et de l'Administration de faire montre de moins d'inertie.