

AMELIORATION DES PERFORMANCES
DES MATERIAUX

Mr Abdelhakim JAKANI
Chef du département des
Infrastructures du transport
LPEE

I - PRESENTATION

Depuis plus de 15 ans, la technologie routière marocaine n'a pas enregistré de véritables progrès en matière de performances mécaniques des matériaux routiers, certes la philosophie de la réalisation et des travaux routiers a beaucoup évolué dans le sens de l'amélioration et de la rationalisation, mais il n'empêche cependant que les caractéristiques intrinsèques des matériaux de chaussée n'ont pas enregistré réellement des modifications palpables.

En effet, les ingénieurs routiers du Maroc ont normalisé un certain nombre de paramètres et critères, tel que le dimensionnement des structures, normalisé par un catalogue, ou encore tels que les spécifications des matériaux, normalisées par le C.P.C qui lui même a été largement inspiré du catalogue de 1977, sauf pour la partie terrassements qui avait intégré les progrès réalisés en la matière en s'inspirant de la R.T.R par exemple. Si l'on revient encore en arrière, l'on se rend compte que même le catalogue de 1977 a réitéré, de façon synthétique, les spécifications de matériaux routiers du colloque de Tanger de 1974.

Dés lors, on est en droit de se demander, si après tant d'années il ne serait pas possible de demander aux matériaux d'être un peu plus performants, dans le but de diminuer leur utilisation dans les chaussées. Quantitativement, c'est à dire pouvoir disposer d'une compensation qualitative au détriment de la quantité, ce qui se traduit en principe par une réduction aussi bien de l'investissement initial que des coûts d'entretien ultérieur.

Il est supposé naturellement une amélioration des performances, pour une catégorie de matériau donné; sans augmentation du coût unitaire du même matériau, sinon, les améliorations de la qualité finale du produit et de ses performances si elle se traduit par un surcoût important par rapport au matériau de départ à améliorer, elle perd évidemment tout intérêt du point de vue économique.

Depuis le début des années 70 et même bien avant, les performances de nos matériaux sont essentiellement exigées des composants élémentaires (granulats sables, liant et fillers) et sur les produits finis soit récomposés (grave-bitume et béton bitumineux,) soit directement élaborés (cas des C.N.A-G.N.B.ET G.N.F). La mise en oeuvre quant à elle est quantifiée par un taux de compactage faisant appel à une référence qui peut être une densité d'éprouvette Duriez (cas des matériaux liés au bitume) ou une densité d'un moulage Proctor au laboratoire (cas des matériaux non liés). Quelles sont alors ces performances couramment rencontrées depuis la décennie 1960/70 ou les actuelles performances, ce qui revient pratiquement au même :

II - PERFORMANCES ACTUELLES

A - Les composants élémentaires :

1 - Granulats

Ces composants sont définis par des spécifications sur leur granularité-angularité -dureté-propreté. Toutes ces caractéristiques étant définies indirectement, c'est à dire comme étant celles que doivent avoir les granulats pour que le produit qui en est issu réponde bien au C.P.C.

La granularité définit une dimension minimale et maximale mais ne spécifie rien sur les tolérances et sur l'allure de la courbe granulométrique.

L'angularité exigée est dans la plupart des cas un concassé pur c'est à dire un rapport de concassage supérieur à 4, aussi bien pour les enduits superficiels que pour les bétons bitumineux, par contre, pour les graves-bitumes, on se contente d'un indice de concassage supérieur à 100% .

La dureté est définie par l'essai los Angelés puis très récemment (depuis l'édition du dernier C.P.C en 1983), la dureté a été complétée par l'essai Micro-Deval en présence d'eau. Cette dureté est variable selon la destination du granulat LA< 30 pour les C.B.B ou LA 25 pour les bétons bitumineux, par contre, pour les enduits superficiels les seuils sont modulés en fonction des classes de trafic.

Enfin, la propreté est définie par le passing au tamis de 1mm, ce dernier étant limité à 2% dans la majorité des cas, sauf pour les enduits superficiels où l'on est encore plus exigeant pour des raisons d'adhésivité et dans ce cas le passing à 1mm est limité à 1%.

2 - Les sables

Il n'y a pas, dans les spécifications marocaines routières, des spécifications particulières aux sables seuls, en fait, les sables sont définis indirectement par la granulométrie et l'équivalent de sable que doivent avoir les matériaux élaborés et contenant une fraction sableuse.

Pour les graves non traitées, la fraction sableuse, c'est à dire comprise entre 0 et 6,3mm et qui peut être de 33 à 64% (G.N.F.0/40) et 35 à 64% (G.N.A 0/40), doit avoir un ES supérieur à 30 et une certaine granulométrie par rapport au mélange (fuseau C.P.C) : passant à 2mm : 20 à 48% et passant à 0,08mm : 2 à 14 pour les G. N. F 0/40 par exemple.

Pour les graves traitées aux liants hydrocarbonnés (G.B.B et B.B) la fraction sableuse 0/6 mm d'une grave bitume doit avoir une certaine granulométrie de telle sorte que la granulométrie du mélange minéral sec, soit dans le fuseau C.P.C et un ES supérieur à 30. Cette valeur est portée à 40 pour les bétons bitumineux. Dans tous les cas, l'essai de propreté à l'équivalent de sable se fait sur la fraction 0/5 mm.

L'on remarque donc, que pour le Maroc il n'y a pas de définitions séparées pour les composants élémentaires granulats-sables, alors que certains pays définissent des classes ou des catégories de sable ou de granulats, qui, en fonction de certaines contraintes : trafic, climat etc... exigent l'utilisation de telle ou telle classe de granulat.

3 - Les liants

Dans la technique routière actuelle, il n'est question pour le moment que des liants hydrocarbonnés, les liants hydrauliques ne sont pas utilisés dans les matériaux de chaussée, cela reste encore du domaine de la recherche, et de l'expérimentation.

Les performances exigées des liants hydrocarbonnés sont à peu près les mêmes que celles mentionnées dans les différentes normes internationales ASTM - AFNOR - etc... à savoir : pour les bitumes purs pénétration à 25°C définissant la classe-Point de ramollissement B et A Densité à 25°C - Perte à la chaleur à 163°C - Pénétration résiduelle après perte à la chaleur en film mince - Ductilité à 25°C point d'éclair Cléveland.

Les bitumes purs couramment utilisés au Maroc, sont les 40/50 les 60/70 et les 80/100 d'ailleurs le C.P.C ne prévoit pas d'autres classes.

En ce qui concerne les bitumes fluidifiés, il est essentiellement fait usage au Maroc des Cut-Back 400/600 pour les revêtements superficiels et des Cut-Back 0/1 pour les couches d'imprégnation sur les graves non traitées. (Le C.P.C a prévu plusieurs classes de Cut-Back : 0/1-10/15-400/600 et 800/1400.) Les C.B sont testés ou caractérisés par leurs : viscosité - densité relative distillation fractionnée et la pénétration résiduelle après distillation à 360°C.

En ce qui concerne les émulsions, il faut signaler qu'au Maroc, nous n'avons pratiquement jamais utilisé des émulsion à 69% dans la grande majorité des cas, il est fait usage seulement des émulsions acides (cationiques) à 60 ou 65% de bitume (qui sont d'ailleurs des émulsions à rupture semi-rapide) bien que les normes marocaines du C.P.C prévoient l'utilisation de toute une panoplie d'émulsions différentes.

B - Les produits finis ou composés

Comme nous l'avons signalé plus haut, au Maroc sur les chantiers classiques il n'a jamais été question de chaussée traitée aux liants autres que les liants à base d'hydrocarbure. Les chaussées traitées au ciment telles que chaussées béton ou grave-ciment, sont encore au stade d'études de laboratoire et d'évaluation de comportement sur planche d'essai. Nous n'avons donc pas suffisamment de recul pour les intégrer dans le présent tour d'horizon. Il ne sera donc question par la suite, que des chaussées en béton-bitumineux et grave-bitume ou des chaussées ultra-souple en graves non traitées (G.N.F/G.N.B) suivies de revêtement superficiel ou d'un tapis mince de B.B.

1 - Les graves non traitées

Les graves non traitées sont des tout-venants concassés ou seulement criblés à une certaine dimension, il était question il y a quelques années au Maroc des graves recomposées et humidifiées en centrale, mais apparemment l'idée n'a pas été poussée jusqu'à la concrétisation.

Les performances demandées pour les graves non traitées peuvent se résumer comme suit : .

- Granularité et dimension
- Propreté (ES et IP selon la zone climatique)
- Dureté mesurée par les essais los Angeles et Micro-Deval humide
- Angularité mesurée par l'indice de concassage et variable selon la classe de trafic..

L'on remarquera, si l'on fait référence au C.P.C que le coefficient de forme est exigé seulement pour des matériaux de fondation G.N.F (Les moins nobles en quelques sortes des 3 catégories (G.N.F / G.N.A / G.N.B) alors que pour les G.N.A et les G.N.B et même pour les granulats des graves traitées au liant, ce coefficient est omis bien qu'il joue un rôle prépondérant dans le frottement interne du matériau, mais cela fait partie des nombreuses anomalies du C.P.C actuel qui sans être trop gênantes dans le déroulement des chantiers, méritent d'être rectifiées à la prochaine réédition du C.P.C.

En résumé, pour les granulats et les graves non traitées, on peut dresser le tableau suivant : .

Caractéristiques		Durété	Propreté		Forme	Angularité	Dimension	
Nature du matériau		L. A.	MDE	E.S.	I.P.	C.A.	I. C.	D max passant en mm à 80 µ
G. N. F	0/ 60	40		-	6			60
		ou	25		ou			2 à 10
	0/ 40	35**			8*	< 20	> 30**	40
								2 à 14
G.N.B		<30	<20	30	N.P.	-	> 35	40
								4 à 11
G.N.A		<30	<20	30	N.P.	-	>100	40
								4 à 11
Granulats pour E.S	4 / 6,3	25	20	passant à				6,3
	6,3/10	20(T1)	15(T1)	1mm		25 (T2 - T3 - T4)	R.C > 4	-
	10/14	15(T0)	10(T0)	Limité à 1%		20 (T1 - T0)		10
								14
								-

* selon le trafic et la zone climatique

** seulement pour les forts trafics T0-T1-T2

.../...

2 - Les graves traitées aux liants hydrocarbonnés

Les graves bitumes (G.B.B) et les bétons bitumineux (B.B), sont évalués par les performances mécaniques qu'ils peuvent avoir en tant que produit fini et élaboré. Le principe général qui régit les spécifications marocaines en matière d'enrobé au bitume est d'abord une granulométrie du mélange minéral, cette granulométrie est du type continu à l'intérieur d'un fuseau granulaire fixant les limites et notamment la fraction sableuse et taux de filler, ensuite un module de richesse (qui relie le dosage en liant et la surface spécifique, donc implicitement la granulométrie) est fixé en vue d'obtenir des résistances à la compression directe : essai Duriez, des résistances, à la compression traction par fendage : essai Marshall, des résistances au fluage. Marshall et enfin des compacités sur éprouvettes Duriez et Marshall. Le rapport compression-immersion est également spécifié mais il n'est pas modulé en fonction de la zone climatique. L'on constate finalement que pour les G.B.B et B.B, il n'y a pas de spécifications concernant les résistances à la traction directe ou les résistances à la fatigue et à l'orniérage ou même les modules. Il est certain, qu'en mécanique de chaussée les calculs sont essentiellement basés sur des données telles que les modules pseudo-élastiques; contraintes attendues dans les diverses couches du multicouche et résistance à la fatigue par répétition des charges, c'est à dire une certaine durée de service. Ces paramètres devraient être donc vérifiés au laboratoire au stade des formulations, et leurs valeurs devraient être confrontées à des spécifications à mettre au point de façons standardisées, notamment pour des pays tels que le Maroc où les épaisseurs des matériaux et leur nature sont préalablement dimensionnés par des catalogues des structures types.

Le résumé des spécifications actuelles peut être dressé sous forme du tableau suivant :

Caractéristique Matériau	Dimension		Dureté L. A	Propreté		Angularité I. C.	Module de richesse	RC à 83 18°C à l'air (DURIEZ)		RH/RS	Marshall			Compacité (DURIEZ)	
	Dmax mm	Passant à 80 µ		I.P	E.S			Bitume 60/70	Bitume 40/50		Stabilité en Kg	Fluage en mm	Compacité		
G. B. B 0/25	25	6 à 10	< 30	NP	>30	à partir de 20%*	2 à 2,5	45	50	0,65	B60/70	540/50	< 4	91 à 97	88 à 95
G. B. B 0/20	20	6 à 10	< 30	NP	>30	à partir de 20%*					700	800			
B. B 0/14	14	4 à 8	< 25	-	>40	Rapp. Concass. > 4	3,45 à 3,9	55	60		900	900	< 4	92 à 96	88 à 94
B. B 0/10	10	5 à 9	< 25	-	>40	Rapp. Concass. > 4	3,45 à 3,9	55	60	0,75	1000	1000	< 4	93 à 97	90 à 95

* : 20 % pour les trafics T3 et T4 puis IC > 50 % pour T2, et IC > 100 % pour T1, et enfin rapport concassage > à 4 pour T0.

REMARQUE :

Il n'est pas prévu l'utilisation d'un bitume 80/100 pour les GBB 0/25 et 0/20, par contre, pour les BB 0/10 et 0/14 le C.P.C prévoit la possibilité d'utiliser un 80/100 comme liant et dans ce cas les performances sont ramenées à 50 bars en R.C Duriez et à 45 pour le 0/10 et le 0/14 respectivement ainsi que des stabilités Marshall de 950 kg et 850 kg respectivement. Toutes les autres caractéristiques étant inchangées.

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de relever un certain nombre de remarques plus ou moins contradictoires au niveau de l'homogénéité de ces spécifications, citons quelques exemples sans rentrer dans les détails, ce qui n'est pas tout à fait l'objet de la présente étude; précisons cependant, que cela n'a jamais empêché nos chantiers de se dérouler dans de bonnes conditions techniques :

1 - Pour les trafics T3 et T4 le catalogue des structures types, ne préconise jamais de grave-bitume, donc il n'y a pas lieu de faire varier l'indice de concassage en fonction des trafics tout au moins pour les classes T3 et T4.

2 - Il n'est pas normal d'exiger les mêmes résistances au fluage quand on passe d'un bitume dur 40/50 à un bitume plus mou : le 80/100.

3 - Un coefficient de forme est spécifié pour les graves non traitées en couche de fondation, parce que l'on estime qu'un bon frottement interne améliore la tenue à long terme et dans ce cas, pourquoi ne pas exiger cette qualité des granulats pour graves traitées ?

4 - La valeur limite de 25 pour le M.D.E des G.N.F semble contradictoire avec la valeur de 40 pour le Los Angelés, en principe il ne devrait pas y avoir tant d'écart et une G.N.F dont le L.A est inférieur à 40 peut avoir un M.D.E allant jusqu'à 30 ou 35.

5 - Les caractéristiques qui font intervenir l'eau dans la chaussée telle le M.D.E (Micro-Deval en présence d'eau) et le rapport RH/rs pour les enrobés (Rapport entre résistance d'éprouvette sèche et d'éprouvette saturée d'eau), devraient normalement être modulées selon la zone climatique. En effet, quand on réalise des revêtements superficiels au Sahara, la valeur du M.D.E des granulats a nettement moins d'importance que dans le Gharb ou le Rif.

III - FLUCTUATION DES PERFORMANCES DES MATERIAUX SUR CHANTIER

Après ce bref tour d'horizon de la déontologie de la technologie routière nationale en matière de spécification, ou de législation technique, la question qui vient logiquement à l'esprit est comment sont obtenues effectivement ces performances

sur chantier Et de quelles manières elles peuvent fluctuer vis à vis de ces divers seuils de qualité ?.

D'une manière très générale, les chantiers nationaux se déroulent avec un contrôle de qualité pratiquement à tous les stades : depuis l'élaboration des composants élémentaires, jusqu'à la fabrication du produit fini et de sa mise en oeuvre. La présence de contrôle continu fait que, sauf cas exceptionnel, les matériaux mis en oeuvre répondent bien aux spécifications mentionnées précédemment, mais pas toujours sans difficultés, à titre d'exemples citons :.

- Des granulats à Los Angelés inférieur à 20 sont plutôt rares et souvent en cas de besoin, il est nécessaire de les approvisionner de très loin.

- Des G.N.A ayant une bonne dureté L.A inférieur à 25 ou 20 ont du mal naturellement à produire beaucoup de sable au concassage, ce qui leur confère des courbes granulométriques à la limite inférieure du fuseau de spécification ou même parfois en dehors du fuseau, d'où des corrections granulaires par recyclage ou par adjonction de sable pas toujours aisées à réaliser de façon efficace et sûre.

- Des B.B 0/10 ou 0/14 où la résistance Duriez à 60 kg/cm² est obtenue à la limite sans que l'on sache exactement pourquoi ? C'est à dire, qu'en partant d'éléments tous conformes aux normes, et en optimisant au mieux le dosage en liant, les résistances R.C (L.C.P.C) plafonnant parfois à peine au dessus du seuil 60 kg/cm².

Donc, à part ces quelques difficultés, les performances des matériaux sont obtenues conformément aux exigences des spécifications mais, ces performances ne sont pas toujours régulières. Les fluctuations des caractéristiques des matériaux pendant l'exécution des chantiers sont fréquentes, que ce soit au niveau de la fabrication du matériau ou au niveau de sa mise en oeuvre.

Le C.P.C définit pourtant des marges de tolérance, mais pas pour toutes les caractéristiques. Nous citons ci-après quelques exemples de fluctuation et de dispersion des valeurs des caractéristiques, ces exemples sont tirés de divers chantiers nationaux et sont donnés à titre d'illustration : .

A - Fluctuation des graves non traitées :

* La granulométrie peut varier tout en restant à l'intérieur du fuseau le passant à 80 microns peut fluctuer entre 7,5 et 13% pour une GNB et entre 5% et 10% pour une GNA sur le même chantier. D'autre part cette caractéristique (passant à 80 microns) peut fluctuer de 4% à 10% pour une GNA sur un autre chantier.

* La propreté : pour les graves non traitées, l'indice de plasticité est dans la très grande majorité des cas non

mesurable, ou à la limite inférieur à 6, en revanche l'équivalent de sable tout en étant supérieur à 30% peut varier dans de grandes proportions. En restant dans l'exemple des mêmes chantiers que ci-avant, l'on constate que l'E.S pour une GNA varie de 34 à 47 pour le 1er chantier et de 30 à 69 pour le 2ème chantier avec quelques valeurs entre 25 et 30 (écartées du corps de chaussée et utilisées soit en couche de forme, soit en accotement).

* Dureté : la valeur du Los Angelés a varié de 19 à 22 pour le 1er chantier et de 22 à 28 pour le 2ème chantier.

B - Fluctuation des caractéristiques des bétons bitumineux :

* Granulométrie du mélange minéral : fluctuation à l'intérieur du fuseau ou légèrement en dehors avec un passing à 80 microns de 8,6 à 10% pour le 2ème chantier et de 4,9 à 9,4% pour le 1er chantier.

* Stabilité Marshall : 927 kg à 1195 pour le 2ème chantier et 850 kg à 1150 kg pour le 1er avec plus de 95% des cas au dessus de 950 kg.

Il ne serait pas utile de continuer les exemples avec les variations des autres caractéristiques des matériaux, ou d'autres chantiers nationaux, disons simplement, qu'en général les matériaux bruts sont relativement homogènes pour un site donné ou pour une carrière donnée.

Homogénéité dans le sens des caractéristiques intrinsèques des roches telles que dureté, porosité ou pétrographie. Par conséquent, les fluctuations que l'on observe sont tout à fait maîtrisables, puisqu'elles sont dues dans une large mesure à l'utilisation des machines par l'homme et non pas à l'hétérogénéité de la nature. Il est fréquent de constater des variations dans les performances mécaniques d'une grave-bitume dues à des fluctuations de la récomposition par le poste d'enrobage d'une part et à des fluctuations des caractéristiques des composants (granulats et surtout sables) d'autre part. Ces fluctuations ont évidemment un effet cumulatif. Pourtant, l'on devrait veiller dès la fabrication des composants élémentaires à une certaine régularité à la station de concassage même, pour avoir le minimum de dispersion au stade final du produit élaboré comme les enrobés.

En fait, comme on vient de le voir, il ne suffit pas de répondre à un certain nombre de critères de qualité ou de seuils fixés par les spécifications, mais en plus, pouvoir dire que le matériau répond au souci de la qualité, il faut assurer une régularité. En effet une trop grande dispersion de performances des matériaux, se traduit pratiquement par une dispersion du monde de fonctionnement d'une chaussée.

L'étude du comportement des chaussées montre que sur un tronçon d'une longueur donnée, les dégradations peuvent affecter des sections de diverses longueurs à l'intérieur du tronçon concerné, et ceci pour un sol homogène, un trafic caractéristique

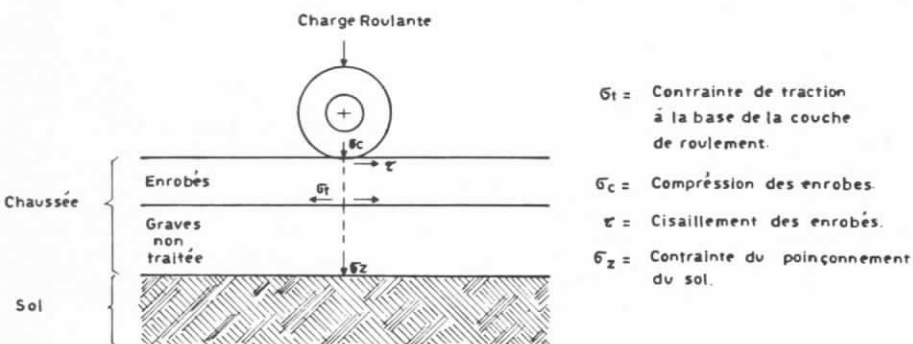
du tronçon et des conditions climatiques données. Ce qui signifie que bien que tous les paramètres de dimensionnement soient constants et homogènes sur un tronçon (sol-climat-traffic) le fait que les dégradations au cours du vieillissement de la chaussée affectent une ou plusieurs parties d'un même tronçon de façon à peu près aléatoire, signifie que les fluctuations des épaisseurs du corps de chaussée et les dispersions des caractéristiques de leurs matériaux en sont responsables. D'où l'importance de la régularité des performances.

L'analyse de cette situation montre finalement, que si les exigences des spécifications sont un peu élevées, c'est parce que les concepteurs et les Maîtres d'oeuvre ont parfaitement conscience des grands écarts types que l'on peut enregistrer sur les caractéristiques des matériaux. Les Maîtres d'oeuvre ont donc placé parfois la barrière trop haut, mais à juste titre, car plus l'écart type est important et plus le risque pris sur la longévité de l'ouvrage est grand.

IV - COMPORTEMENT DES MATERIAUX ROUTIERS

Pourquoi alors exige-t-on des matériaux des performances ? Et comment ces performances interviennent-elles dans le comportement des chaussées et dans les calculs des structures en mécanique de chaussées ?.

Chacun sait que la chaussée joue le rôle d'intermédiaire entre une charge roulante et un sol incapable de la supporter de façon répétée. Le rôle premier que devra donc jouer la chaussée est une diminution de la contrainte transmise au sol pour qu'il puisse être sollicité un très grand nombre de fois sans fluer, cette diminution de contrainte se fera donc à l'aide d'un matériau plus performant que le sol évidemment, dans un but de répartition. Le matériau de chaussée devra donc avoir le meilleur module pour que, pour une épaisseur donnée de ce matériau, la contrainte transmise au sol, soit effectivement celle prévue par les calculs et compatible avec les capacités portantes du sol. Malheureusement, pour les meilleurs modules de rigidité (donc les meilleures répartitions sur le sol) la contrainte de traction et de cisaillement augmente à la base du matériau de chaussée. Les graves non traitées n'ont pas vraiment de résistance à la traction et pourtant elles se comportent bien dans la grande majorité des cas, cela signifie probablement qu'elles résistent quand même à la traction par frettage à l'intérieur d'une chaussée (selon le degré de compactage et le frottement interne par concassage). Pour pallier ces diverses exigences contradictoires (répartition de la charge : bon module et résistance à la traction et au cisaillement) les chaussées comportent plusieurs couches de matériaux différents et s'étudient en tant que système multicouche reposant sur un massif semi infini qui est le sol moyennant des hypothèses simplificatrices.



A - Les graves non traitées

Les graves non traitées et de façon générale, les tout-venants travaillent donc essentiellement par compression, améliorer leurs caractéristiques revient à améliorer leur modules pseudo-élastique, car à épaisseur égale de tout-venant, plus le module est élevé et plus la contrainte transmise au sol est faible, pour une charge donnée évidemment.

Généralement cette charge est prise comme étant celle de l'essieu légal (13 tonnes pour le cas du Maroc).

Les compressions cisaillement répétés dans les graves non traitées, font qu'à la longue, le matériau subit des dommages dus à la fatigue. Ces dommages peuvent être de plusieurs sortes :

- 1 - Décompactage : affaissement, orniérage, chute du module.
- 2 - Production de fines par auto-attribution en cas de faible dureté ce qui se traduit par une modification granulaire du matériau et perte de compacité et d'une partie du squelette porteur, d'où chute des modules donc augmentation des contraintes dans le sol, affaissement et déformations permanentes, etc...

Malheureusement, il n'existe pas suffisamment de données dans la littérature technique concernant le comportement à la fatigue des graves non traitées. Il ne semble pas aisé de simuler au Laboratoire le mode de fonctionnement des graves non traitées, en effet, les éprouvettes de matériaux non liés, ne peuvent avoir de tenue sans un moule autour et les essais réalisés sur un matériau à l'intérieur d'un moule sont toujours entachés des erreurs dues

aux effets de paroi et frettage du moule. De plus, il faudrait simuler à la fois la compression et le cisaillement; il est possible que la P.C.G (Presse de Cisaillement Giratoire) puisse permettre ce type de simulation, mais il restera le problème des effets de paroi du moule à résoudre.

B - Les enrobés au bitume :

Le mode de fonctionnement des enrobés dans une chaussée est relativement mieux connu que celui des G.N.T, en effet, les essais de fatigue réalisés sur les enrobés sont devenus plutôt courants dans la plupart des Laboratoires du monde.

Les enrobés travaillent surtout en compression en surface et en traction à leur base. En fait, en surface la charge roulante confère au matériau en plus de la compression directe, une légère contrainte de cisaillement qui peut devenir importante en cas de modification de la vitesse (accélération-dérangement-freinage). Leurs caractéristiques mécaniques doivent donc leur permettre de :

- Résister à la compression de surface
- Résister à la traction de la base de couche et à la déformation unitaire qui l'accompagne
- Résister au fluage (affaissement-ornière) à long terme (en tous cas, jusqu'à la fin de la durée de service).
- Offrir (pendant la durée de service au moins) des propriétés de rugosité de surface, antidérapantes de façon pérenne.

En principe, la question de résistance à la compression, ne pose aucun problème : l'enrobé à un R.C d'au moins 40 kg/cm² et la pression de gonflage des pneumatiques des poids lourds ne dépasse pas 7 à 8 kg/cm². Ceci est valable pour le cas général, il est évident que sur une voirie industrielle ou portuaire où circulent des engins spéciaux développant 10 à 15 kg/cm², par temps très chaud, il peut y avoir des problèmes de stabilité au bout de quelques centaines ou quelques millions de passages de la charge roulante.

Les propriétés de rugosité de surface sont assurées à la fois par la granularité et le dosage en liant, c'est à dire la formulation au Laboratoire et par la qualité du plus gros granulats et notamment sa résistance à l'usure et au polissage. L'essai C.P.A (coefficient de polissage accéléré) est spécifié par le C.P.C du Maroc mais, l'essai n'est pas encore opérationnel (difficulté de disposer d'une référence adéquate).

La résistance aux déformations permanentes est assurée à la fois par un choix judicieux de la formulation et par un bon compactage lors de la mise en oeuvre. Améliorer cette caractéristique revient donc à optimiser la formulation : granularité du mélange minéral et dosage en liant et à augmenter le compactage. Cependant, à ce niveau apparaissent des phénomènes contradictoires et le mieux à faire est de choisir un bon

compromis. En effet, si l'on pousse très loin le compactage, et cela est possible maintenant avec les engins vibrants et puissants dont on dispose depuis quelques années, le module des enrobés augmente et engendre une augmentation de la contrainte de traction à la base de la couche, ce qui peut provoquer des fissurations prématurées par excès de rigidité du tapis d'enrobé. Signalons toutefois que ceci n'est vrai que dans le cas où le module des enrobés est supérieur au module de son assise (grave non traitée ou pierre cassée), ce qui est le cas du Maroc. Par contre si le rapport des modules est inférieur à 1, c'est à dire enrobé bitumineux sur grave-ciment, dans ce cas l'on a intérêt à donner un compactage intense aux enrobés.

Reste enfin la résistance à la traction et la déformation relative qui l'accompagne et cela ne peut être vérifié que par des essais de fatigue où l'on sollicite en traction une éprouvette et l'on enregistre pour une température donnée et une fréquence de sollicitation donnée, le nombre de cycles provoquant la rupture. L'essai est également fait en déformation contrôlée pour mesurer le nombre de cycles qui provoque la rupture en sollicitant l'éprouvette d'une certaine déformation unitaire donnée.

On ne sait pas très bien de quelle façon le matériau résiste très exactement à la traction ? Bien sûr la grande différence avec les G.N.T est la présence du liant, donc en toute logique le bitume joue un rôle prépondérant dans le comportement des enrobés en traction, mais il n'y a pas que le bitume, le squelette minéral, le mortier sableux et son filler, la forme des gros granulats et la compacité du mélange ont également un rôle à jouer dans cette résistance.

Finalement, on se rend compte que pour les enrobés, bien que l'on dispose de suffisamment de connaissances sur la façon de les fabriquer, la façon de les mettre en oeuvre et sur leur mode de fonctionnement dans la mécanique des chaussées, on reste un peu désarmé devant la façon d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques à cause de leur complexité et de la multitude des interactions entre les paramètres des constituants et les multiples performances que doit offrir le produit fini comme le montre le tableau ci-dessous :

Paramètres constituants performances	Choisir la formulation optimale	Augmenter le compactage	Durété des gros éléments	Forme des granulats	Modifier le liant	Qualité du mortier
Résistance à la compres sion	+	+++	++	+	++	++
Résistance à la traction	+++	+	+	+++	+++	+++
Résistance à la déformati- on permanente	+	+++	+	++	++	+++
Adhérence de surface	++	+	+++	++	+	++

+ : Importance faible de la caractéristique vis à vis de la performance visée
 ++ : Importance moyenne de la caractéristique vis à vis de la performance visée
 +++ : Importance dominante de la caractéristique vis à vis de la performance visée

Apparemment, vouloir améliorer les performances d'un matériau enrobé au bitume, équivaut à améliorer toutes ses caractéristiques et celles de ses constituants, pratiquement tout Azimuth, en veillant toutefois à éviter les contradictions et ce n'est pas toujours évident, augmentation des compacités par exemple, qui améliore la lutte contre le fluage mais engendre le risque d'augmentation des contraintes de traction.

C - Les Enduits Superficiels :

Ces matériaux étant systématiquement en surface, leur mode de fonctionnement est assez simple à comprendre à priori. Ils jouent effectivement le rôle de revêtement, c'est à dire qu'ils sont la liaison entre la chaussée et une partie de son environnement : trafic et climat, il doivent donc étancher la surface de la chaussée et résister aux sollicitations de surface du trafic. Ils doivent également maintenir des caractéristiques de surface valables suffisamment longtemps du point de vue rugosité.

Face au trafic, le granulat destiné à l'Enduit doit donc résister aux efforts tangentiels des pneumatiques d'où la nécessité de disposer d'une bonne adhésivité liant granulat et d'un bon accrochage à la chaussée. Il doit également offrir une bonne dureté et une bonne résistance au polissage pour garantir la rugosité de surface. L'ensemble de ces préoccupations est également liée en plus de la qualité du granulat et du liant à la façon de réaliser la texture du revêtement autrement dit la formulation ou choix des dosages.

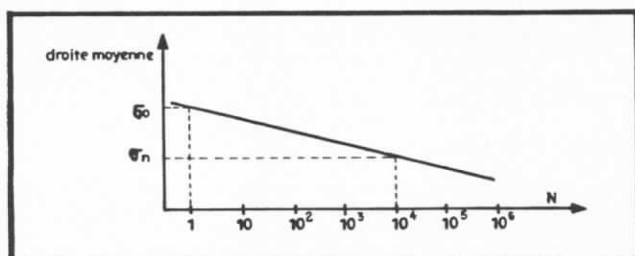
Améliorer les caractéristiques des matériaux pour Enduit, passe par l'amélioration des constituants et celle de la technique de réalisation et c'est là une vérité de Lapalisse en quelque sorte.

D - Comportement des matériaux à la fatigue :

La loi de comportement des matériaux en fatigue a été établie depuis longtemps, et il ne fait plus de doute maintenant sur la relation semi-logarithmique des résistances et du nombre de cycles de chargement répétés. Ces essais et expérimentations ont été réalisés dans la plupart des Laboratoires et des centres de recherche dans le domaine routier de plusieurs pays.

Si l'on examine donc cette linéarité entre résistance et nombre de cycles (voir graphique ci-dessous) on se rend compte combien la moindre amélioration des performances d'un matériau peut améliorer automatiquement le nombre de sollicitations possibles et par conséquent la durée de vie du matériau. Mais malheureusement, l'effet inverse est aussi vrai, en ce sens que toute fluctuation des caractéristiques engendre d'énormes fluctuations de la durée de vie puisque la loi de fatigue est semi logarithmique, d'autant plus que la littérature technique insiste sur les dispersions quasi-inévitables des essais de fatigue. Autrement dit : ce ne serait pas une droite comme courbe décrivant le phénomène de fatigue, mais plutôt un fuseau de plusieurs droites plus ou moins parallèles entre elles et suffisamment rapprochées pour pouvoir parler de loi régissant

le comportement, définie par une droite moyenne :



σ_0 = résistance à la rupture au chargement unique

σ_n = contrainte que peut encaisser le matériau $10n$ fois avant rupture

V - AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

Maintenant que l'on a vu l'importance des performances des matériaux dans le comportement des chaussées, on ne se demande plus pourquoi il faut améliorer les caractéristiques des matériaux routiers mais surtout comment et jusqu'à quelle limite ?.

A première vue, on peut distinguer quatre niveaux d'améliorations possibles :

- 1 - Amélioration des caractéristiques intrinsèques des matériaux
- 2 - Amélioration des caractéristiques de fabrication et de mise en oeuvre
- 3 - Amélioration des fluctuations des caractéristiques
- 4 - Mise au point de normes spécifiques aux Routes à faible trafic afin de favoriser l'utilisation des matériaux locaux ou marginaux après les avoir un peu amélioré par divers traitements et stabilisations.

En ce qui concerne le 1er point, l'on entend par caractéristiques du matériau, la dureté naturelle de la roche, la nature géologique et pétrographique de la roche mère. La qualité géotechnique de l'emprunt ou de la ballastière, ce sont de toute façon des paramètres innés que l'on ne peut pas améliorer ! Il reste possible bien sur l'amélioration des méthodes de prospection des gites naturels des matériaux, ou encore l'amélioration du mode d'exploitation d'un gite, mais les caractéristiques intrinsèques telles que nature physico-chimique du granulat ou sa dureté, sont des données non modifiables et par conséquent toute amélioration doit partir de ces données, ce qui est l'objet du second point.

Le second point concerne les actions que peut entreprendre l'ingénieur routier, en agissant sur le matériel et en concrétisant des idées, pour obtenir un meilleur matériau. Donc tout ce que peut faire l'être humain en partant de données

de la nature pour arriver à l'objectif de disposer de matériaux routiers performants.

Cela est possible à condition de bien connaître le comportement des matériaux, l'influence de chaque paramètre de chacun des constituants élémentaires, sur les caractéristiques du matériau élaboré ou récomposé, et surtout l'influence sur le comportement du matériau dans tel ou tel cas de figure de chaussée.

Le troisième point à trait aux dispersions et aux efforts néfastes qui en découlent (voir paragraphe précédent), car si l'on améliore la régularité de fabrication d'un matériau routier et la régularité de sa mise en oeuvre, cela est aussi intéressant qu'une amélioration des performances de ce même matériau.

Ces actions sont possibles par une maîtrise des constituants élémentaires (granulats-sables-liants-filler) au tout premier stade de leur fabrication en carrière ou en usine (cas des liants). Par également une meilleure maîtrise du matériel de fabrication à l'aide d'un contrôle continu du type enregistreurs montés sur centrales d'enrobage ou centrale de recomposition des graves non traitées. Par enfin, une plus grande sensibilisation du secteur des Entreprises à la régularité d'exécution des travaux routiers.

Le quatrième est totalement différent des 3 autres, car il concerne, non pas les matériaux classiques GNF-GNA-GBB- etc..., mais plus spécialement le domaine des routes à faible trafic, pour lesquelles il serait opportun d'envisager d'une part une modification des spécifications dans le sens de baisse rationnelle des exigences et d'autre part une amélioration des caractéristiques techniques des matériaux peu performants, en vue de l'introduction de leur utilisation dans le domaine des R.E.F.T.

Le premier volet relatif aux spécifications peut être réalisé par une réflexion poussée, tenant compte du comportement des matériaux du contexte spécifique des R.E.F.T (Trafic-sols-climat) cette réflexion devant aboutir à une doctrine englobant le dimensionnement (conception), les normes géométriques et les spécifications géotechniques des matériaux spécialement pour les R.E.F.T de telle sorte que l'on puisse disposer d'une doctrine homogène en la matière.

Le second volet relatif au traitement des matériaux, est facilement réalisable en s'inspirant des expériences similaires à l'étranger et en développant les quelques expériences nationales qui ont été réalisées sur divers chantiers marocains (voir paragraphe suivant).

Le schéma ci-dessous récapitule l'ensemble de ces quelques idées :

Objectif commun	Objectif Partiel	Actions possibles
	Caractéristiques intrinsèques et naturelles	- Figées par la nature - Améliorer mode de prospection
Amélioration des	Performances des produits finis	- Meilleure connaissance du comportement - Meilleure connaissance influence des constituants sur le produit fini - Maîtrise du matériel de fabrication et de mise en oeuvre
Performances des matériaux	Diminution des fluctuations	- Maîtrise du matériel de fabrication et mise en oeuvre - Contrôle du type enregistreurs continus - Sensibilisation des Entreprises
	Améliorer les matériaux marginaux pour les REFT	- Revoir les spécifications pour les adapter aux R.E.F.T - Traiter les matériaux pour les faire répondre aux spécifications revues

VI - QUELQUES EXEMPLES ETRANGERS ET NATIONAUX

Tous les ingénieurs de la Route, à travers les quatre coins du Monde, cherchent à améliorer les matériaux dont ils disposent, dans le but, soit d'abaisser les coûts des travaux en valorisant des matériaux à proximité des chantiers, soit d'augmenter la durée de vie de leur ouvrage ou d'en améliorer de façon générale les caractéristiques de sécurité et de confort. Les exemples suivants illustrent bien cette situation.

1 - En Belgique :

On cherche pour améliorer la résistance aux déformations permanentes des enrobés, sans compromettre leur durabilité (résistance à la fissuration par fatigue) des formulations où un compromis entre ces deux exigences doit être trouvé. C'est ainsi que pour les bétons bitumineux, la Belgique est arrivée aux résultats suivants :

- il est indispensable pour les enrobés denses d'avoir 2 à 3% de vides après compactage pour résister au fluage.

- il est inutile, voire néfaste de vouloir lutter contre les déformations permanentes par une augmentation systématique du rapport filler bitume.

- la formulation doit être telle que le volume du mastic filler + bitume, n'occupe qu'une partie du volume des vides laissés par le squelette minéral sable+granulat, sinon un surremplissage de ce volume disloque le squelette et provoque la chute de stabilité.

Dans le domaine des chaussées souples, la Belgique fait des recherches et des expérimentations sur les enrobés drainants. Les liants modifiés, les enrobés cloutés et les enduits spéciaux.

2 - En France :

Après s'être rendu compte que pour les bétons bitumineux semi grenus en 6 à 8 cm, faiblement dosés en liant, utilisant des granulats anguleux et des bitumes durs, le fluage était combattu, mais cela n'empêchait pas les fissurations et notamment celles dues au vieillissement des liants. On s'est orienté alors vers une révision des formulations des enrobés dans le but d'optimiser entre résistance à la fissuration et résistance au fluage.

En France également, on se préoccupe des liants modifiés les bitumes classiques ont pratiquement atteint leurs limites de performance et on tend maintenant vers l'utilisation des bitumes modifiés par des polymères ou des bitumes avec additifs tels que le bitume-soufre. Ces liants se sont révélés adéquats pour les enrobés en couche mince (4 cm environ). L'utilisation des liants modifiés a augmenté les performances et par suite elle a permis la réduction des épaisseurs.

Dans le domaine des enduits superficiels, l'emploi des liants modifiés a permis l'utilisation des enduits sur des routes à fort

trafic ce qui ne se faisait pas auparavant et cela représente une économie substantielle sur les coûts d'entretien.

3 - En Espagne :

Dans le domaine des enrobés pour les régions à très forte pluviométrie, l'on s'intéresse aux enrobés drainants. Des études de Laboratoire ont été faites et ont donné lieu à des expérimentations sur la N 634. Entre 1980 et 1982 le comportement observé des planches d'essais a été très concluant, ceci a permis de mettre au point des critères de formulation pour les enrobés drainants et des critères de choix de leur utilisation selon la climatologie de la région.

Les enduits superficiels également font l'objet de recherche en Espagne, on vise essentiellement à utiliser les E.S sur des routes à fort trafic et cela a été possible grâce à l'emploi de liants modifiés (bitume-élastomères, goudron-vinyle, émulsion de bitume-caoutchouc, etc ...) et à l'emploi de granulats très performants et très durs (L.A = 10% et C.P.A = 0,48).

4 - En Côte d'Ivoire :

La technique routière a dépassé le stade de traitement des latérites au ciment et s'intéresse de plus en plus au traitement chimique des matériaux ou traitement au ciment de certaines arènes granitiques plastiques, afin de réduire les épaisseurs des matériaux clasiques de chaussée. C'est ainsi que l'on a utilisé un produit chimique le R.R.P (Reynolds Road Packer) catalyseurs facilitant l'échange d'ions dans plusieurs catégories de matériaux : une grave 0/30% et I.P = 14 à 16) et enfin un sable 0/5 mm limoneux (f = 8 à 13%). Dans chaque y a en amélioration des portances C.B.R dans des proportions de plus de 58% et des améliorations très nettes des modules à l'essai de plaque. Les dosages du produit chimique était de 4g à 15g par litre d'eau de compactage, ce qui devrait correspondre à 4 kg/m².

D'autre part, sur une bretelle de l'Autoroute Abidjan-Yamoussoukro, la couche de fondation est en graveleux latéritique et la couche de base en grave concassée non traitée de 45 cm, cette dernière a été réduite à 15 cm, grâce au traitement au ciment des matériaux locaux et qui étaient des schistes I.P : 20 à 22 et fines : 66 à 77% et arènes granitiques I.P : 17 à 22 et fines : 42 à 55%.

5 - Au Sénégal :

On a cherché en procédant à une vaste campagne de reconnaissance et d'essais, des corrélations entre données géotechniques et données pédologiques, ce qui a permis de mieux connaître les gites des matériaux et de mieux définir la classification des sols et des matériaux du point de vue comportement, surtout pour les matériaux argileux et latéritiques.

On a également cherché à améliorer les caractéristiques du graveleux latéritique 0/20 mm discontinu ayant 27% de fines et un I.P de l'ordre de 11, par un traitement au ciment à raison d'au moins 3%. Les résultats obtenus ont montré que l'on avait un matériau intermédiaire entre une grave non traitée et une grave-ciment et que par conséquent du point de vue comportement avec un module de 50.000 bars il devait être étudié et dimensionné à la fatigue.

6 - Au Niger :

Dans le cadre des travaux de la liaison TAHOUA-ARLIT, des matériaux locaux ont été valorisés : des latérites ont été améliorées par adjonction de grave concassée propre à raison de 50% de grave 0/31 et 50% de latérite d'origine. Le matériau final du mélange a vu sa granulométrie s'améliorer de sableuse à bien graduée, les fines de latérite 30% sont passées à 20%, l'I.P de la latérite qui était de 10 est passé à 6 sur le mélange, le C.B.R a également été amélioré de 50 à plus de 100.

Des tout-venants à galets de reg, abondant dans le Nord du Sahel, mais trop fins et trop plastiques pour être utilisés tels quels en corps de chaussée, ont été améliorés par du sable de dune à raison de 20% de sable et 80% tout-venant de reg. L'I.P de 18 a été ramené à 12 et les fines du tout-venant qui étaient de l'ordre de 25% ont été ramenées à 18% environ sur le mélange.

7 - Au Maroc :

Il est fréquent d'exiger pour les accôtements dans la partie non revêtue, des matériaux sélectionnés, c'est à dire devant résister au trafic occasionnel (donc ayant un minimum de squelette graveleux), devant aussi être stables par temps chaud et sec (donc ayant un minimum de cohésion sous forme de fines et de plasticité). Mais sans pour autant se détériorer par temps pluvieux (donc cette plasticité et ces fines ne doivent pas dépasser des limites). L'ensemble de ces exigences a abouti au fait qu'il n'est pas toujours évident de pouvoir disposer de matériaux naturels répondants à ces critères. C'est ainsi qu'il est arrivé fréquemment sur des accôtements, d'être dans l'obligation d'améliorer des sols naturels du type grave argileuse par des sables de concassage pour baisser son I.P ou d'améliorer des tufs locaux par des tout-venants du type G.N.F pour baisser leur taux de fines.

Dans tous les cas le but final était d'arriver à un mélange homogène n'ayant pas plus de 20 % de fines et un I.P obligatoirement au dessus de 6 sans dépasser 12, et enfin un minimum de 20 % à 30 % de supérieurs à 5 mm.

8 - Aux U.S.A. :

Devant la complexité de la rhéologie des bitumes et de la complexité entre les caractéristiques des liants bitumineux et du

comportement des enrobés, on s'est rendu compte depuis longtemps que les essais techniques que l'on réalise pour appréhender la qualité d'un bitume ne sont pas suffisants, ces caractéristiques sont extrêmement dispersées de façon innée. On s'est penché alors vers une totale remise en question des normes et des spécifications des bitumes pour mieux les évaluer qualitativement et il a même été décidé un vaste programme de recherche de 10 millions de dollars/ an sur 5 ans, réservé à mieux connaître le comportement des bitumes et des enrobés. Ce programme a été justifié par le fait que l'on a observé dans plusieurs états, des dégradations précoces de certaines routes qui n'ont pas pu être expliquées par des insuffisances de qualité des granulats ou du sous-dimensionnement ou des malfaçons.

VII - INCIDENCE DE L'AMELIORATION DES MATERIAUX SUR LE COÛT DES TRAVAUX

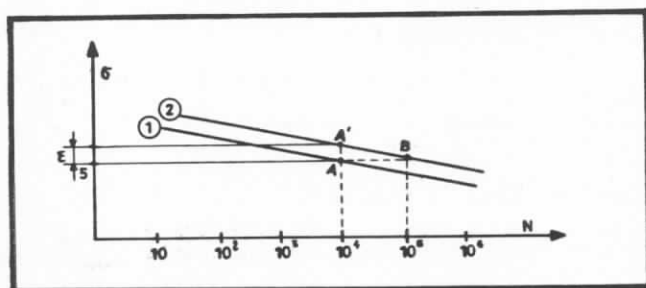
Naturellement tous ces efforts d'amélioration des caractéristiques des matériaux ne sont pas gratuits, il visent soit :

- à valoriser des matériaux locaux pour baisser les coûts de construction d'une chaussée, généralement du type à faible trafic.

- à augmenter les performances du matériau pour limiter son emploi du point de vue quantitatif (pour une même durée de service). La baisse quantitative se traduisant par une baisse du coût global de la chaussée pour une configuration donnée.

- à augmenter la durée de service par amélioration du comportement du matériau dans la chaussée, (pour une épaisseur donnée). Ce qui revient implicitement à diminuer les coûts d'entretien.

Supposons qu'un enrobé sollicité à la traction par une contrainte de 5 kg/cm^2 puisse la supporter 10.000 fois (point A de la courbe (1) de fatigue) et que par une meilleure formulation et l'emploi de liants spéciaux, ses caractéristiques s'améliorent de telle sorte qu'il résiste 100.000 fois à cette même contrainte (point B de la courbe 2 de fatigue).



Le premier enrobé a une caractéristique qui est $4 = 5$, et après modification il est devenu un nouveau matériau (nouvelle courbe 2) ayant comme nouvelle caractéristique $4 = 5 +$ (point A de la courbe 2).

Tout ceci signifie que la moindre amélioration des caractéristiques se traduit par un grand gain sur la durée de service. Cependant, cette illustration est un peu simpliste, car elle admet deux hypothèses simplificatrices :

- Elle suppose qu'il n'y a pas de dispersion sur les essais de fatigue, ce qui est loin d'être vrai.

- Elle suppose que la sollicitation de 5 bars est maintenue à la base de la couche d'enrobé même après son amélioration, or si l'on modifie l'enrobé (bitume à polymère, formulation, etc...) le module de celui-ci se modifie et par suite la contrainte à la base de la couche peut ne pas être celle du premier cas de figure. Néanmoins, l'exemple précédent n'a pas la prétention d'être un cours de mécanique des chaussées, mais seulement de souligner qu'une amélioration des matériaux ne peut pas se concevoir sans être accompagnée d'économie sur les coûts des travaux soit de construction ou d'entretien.

Un autre exemple de réduction des coûts est donné par le manuel Français du dimensionnement des routes à faible trafic et qui est basé sur l'utilisation des matériaux classiques de qualité : classés en catégorie 1, puis l'utilisation possible des matériaux de moindre qualité classés 2 et 3. Les abaques permettent de moduler les épaisseurs de chaussée en fonction du trafic de la portance de la plateforme et surtout en fonction de la qualité des matériaux de base et de fondation que l'on se propose d'utiliser et qui peuvent être des matériaux locaux bon marché, ou à la limite des matériaux locaux très marginaux, que l'on aura préalablement traité et amélioré pour les rendre appartenant aux classes 2 et 3 du manuel par exemple.

VIII - CONCLUSION

En conclusion, nous dirons simplement, que l'amélioration des caractéristiques et des performances des matériaux, n'est pas utopique. Elle permet sans nul doute de réaliser des économies dans le coût des constructions des chaussées et de leur entretien, soit directement soit en indirectement en augmentant la durée de vie de l'ouvrage.

Ces améliorations doivent, pour avoir des chances de succès, passer par des efforts dans plusieurs axes :

- Un système de spécifications en harmonie avec les exigences des chantiers et les possibilités réelles des matériaux. Sans contradiction, sans trop d'exigences, mais sans laxisme non plus. Un jeu complet et homogène de spécifications spécialement conçu et adapté aux routes économiques à faible trafic.

- Une meilleure maîtrise des fluctuations des performances des matériaux par une réglementation mettant l'accent sur la régularité et par une plus grande sensibilisation des entreprises.

- Une connaissance des matériaux plus approfondie et notamment les relations complexes entre caractéristiques des constituants partiels et des performances des produits élaborés.

- Une ouverture sur les innovations à l'étranger telles que les techniques hautement performantes (enrobés cloutés, enduits spéciaux, etc...), adoption des liants modifiés.

- Enfin une volonté de réalisation de chantiers expérimentaux et de recherches de Laboratoire persévérantes.