

LES PARAMÈTRES INFLUANÇANT
LEUR COMPORTEMENT

Bouchaïb SAFIR
GTR

II. TEXTE DE REFERENCE

Les textes qui précisent les exigences techniques et les responsabilités de chacune des parties concernées peuvent être divisées en deux catégories :

- Textes réglementaires :

- . **Les C.P.C** (cahiers des prescriptions communes).

Il s'agit des documents contractuels, donnant les spécifications et normes à respecter sur un plan général.

- . **Les C.P.S** (cahiers des prescriptions spéciales).

Ce document est établi pour chaque appel d'offres. Il précise les clauses techniques propres à un chantier donné. En l'absence de précisions, c'est le C.P.C qui est pris comme référence.

- Textes techniques :

Outre les textes réglementaires cités ci-dessus, les matériaux hydrocarbonés sont régis par les directives suivantes.

- Directive pour essais de recette des granulats destinés à la fabrication des enrobés à chaud.
- Directive pour la formulation des enrobés à chaud,
- Directive pour le réglage et le contrôle des postes d'enrobage,
- Directive pour le contrôle de qualité et de réception de fabrication des enrobés à chaud,

- Directive concernant la réalisation de mise en oeuvre des enrobés à chaud.

III. LES ENROBES BITUMINEUX ET LEURS ROLES

Il est nul besoin de préciser que la couche de roulement est le but ultime de la géotechnique routière, les autres couches n'ont de raison d'être que si elles lui permettent de jouer convenablement son rôle, auquel il est destiné à savoir :

- Sécurité

Il s'agit là d'un facteur des plus importants que doit assurer une couche de roulement, et afin de s'acquitter de cette tâche, la chaussée doit être dotée de bonnes caractéristiques antidérapantes, c'est à dire une bonne rugosité.

- Confort

Il dépend essentiellement de deux paramètres :

La suspension du véhicule et l'uni de la chaussée.

Pour ce qui est de l'uni, il dépend en effet du niveau de service que l'on veut donner à la chaussée compte tenu du surcoût qu'il peut générer.

- Le rôle mécanique de la couche de roulement.

La couche de roulement doit :

- . Avoir une résistance lui permettant de résister aux agressions du trafic et celles liées aux conditions climatiques et qu'elle subit directement.

- . Etre suffisamment étanche pour faire obstacles à la pénétration d'eau dans les assises de chaussées.

- . Assurer ses différents rôles de manière durable.

Ces propriétés, en l'occurrence, l'étanchéité et la résistance sont tributaires de l'étude de formulation.

Notons que la résistance de l'enrobé et sa rugosité dépendent de l'étude de formulation, alors que l'uni dépend de la conception des couches sous-jacentes.

IV. PRINCIPES GENERAUX DE FORMULATION

Formuler un enrobé hydrocarboné pour couche de roulement, c'est déterminer le mélange optimal de granulats et du bitume permettant d'obtenir un matériau doué de certaines propriétés : imperméabilité, rugosité, résistance mécanique.

Les principaux critères à prendre en compte lors du choix d'une formule d'enrobé sont:

- **Le trafic :**

pour les chaussées à faible trafic où les épaisseurs de couche de roulement sont parfois insuffisantes il est nécessaire d'avoir une formule compacte on s'orientera vers des formules plus sableuses et des bitumes moins durs, alors que dans le cas des forts trafic, le choix portera surtout sur les granulats et leurs angularité ainsi que sur l'utilisation des bitumes durs.

- **Le type de structure**

- **La région traversée**

- **L'épaisseur optimale :** en tenant compte de l'orniérage et de la compacité qui confèrera à l'enrobé une résistance lui permettant de faire face aux sollicitations du trafic.

Ainsi, il est désormais nécessaire avant d'entamer une étude de formulation d'enrobé, de connaître d'abord l'objectif attendu de ces enrobés et le rôle que l'on voudra leur faire jouer.

Les propriétés des enrobés hydrocarbonés peuvent varier si l'on influe sur les caractéristiques des trois facteurs principaux de la composition des enrobés

- Les granulats
- Les fines
- Le liant
- La compacité

1- INFLUENCE DU TYPE DE BITUME UTILISE

Les variations du marché du module complexe d'un enrobé bitumineux avec la température et le temps de charge doivent être attribués en majeure partie au bitume ; ainsi des études ont été menées pour examiner l'influence que pouvait avoir le bitume sur la déformabilité d'un enrobé.

Un enrobé 0/14, a été composé, il s'agit d'un concassé pur ayant 5 % de filler et contenant 6 % de bitume.

Les bitumes utilisés sont :

- 40/50

- 180/220
- 110/35 (à usage industriel).

L'indice de pénétration du 110/35 était de + 6,2 alors que ceux du 40/50 et 180/220 étaient respectivement de -0,5 et -1,2.

L'étude a porté sur le module complexe de l'enrobé dans une plage de variation des températures de -20°C à +50°C et la fréquence de 0.005 HZ à 50 HZ.

On constate que la durée du bitume utilisé et sa susceptibilité à la température influencent grandement la valeur du module complexe de l'enrobé dans ces conditions données de température et de temps de charge.

A titre d'exemple, la figure 1 montre les variations du module de rigidité des trois enrobés denses avec la température ; elle met en évidence l'importance du rôle joué par le bitume dans un enrobé bitumineux ; en effet ; si on laisse de côté l'enrobé au bitume 110/35 dont la mise en œuvre aux températures habituelles est rendue difficile par la trop forte viscosité du liant, on constate que l'emploi d'un bitume plus dur et de même susceptibilité à la température, a pour effet de décaler la courbe donnant les variations du module de rigidité vers les hautes températures.

La valeur maximale du module de rigidité de l'enrobé n'est pas influencée par le type de bitume utilisé ; de celle de charge de 3, 18.10 seconde (5 Hz) un enrobé au 180/220 aura un module de rigidité très voisin de celui d'un enrobé au 180/220 aura un module de rigidité très voisin de celui d'un enrobé au 40/50 pour une température de - 20° C et au dessous ; par contre à +20°C, le module de rigidité de l'enrobé au 180/220 sera approximativement cinq fois plus faible que celui de l'enrobé au 40/50 ce qui signifie que, toutes choses étant égales par ailleurs, et dans la mesure où l'on se maintient dans le domaine du comportement linéaire, l'enrobé à base de bitume 180/220 se déformera cinq fois plus que celui au 40/50 pour une contrainte donnée (ceci à 20°C, et pour un temps de charge de 3, 18, 10-2).

2 INFLUENCE DU POURCENTAGE DE VIDE

Nous venons de voir que la température et le temps de charge influencent les propriétés du liant et par là même celles de l'enrobé. Le choix du liant lui-même est très important.

Il est difficile de synthétiser l'influence du squelette granulométrique (rapport filler/bitume, teneur en bitume, forme des agrégats) car ces facteurs sont liés. Ils influent cependant tous sur le pourcentage de vide de l'enrobé.

D'une manière générale, on peut remarquer que, dans des conditions de température et de temps de charge identiques, le module de rigidité des enrobés à pourcentage de vide élevé était nettement plus faible que celui d'enrobés plus compacts, fabriqués à partir du même bitume. On peut penser que la teneur en vide de l'enrobé pouvait avoir une certaine influence sur la valeur du module de rigidité.

Dans le cas d'enrobés correctement dosés en bitume, la teneur en vide dépend à la fois de la granulométrie et du compactage ; pour essayer de différencier les effets de ces deux facteurs, les modules complexes de divers enrobés de granulométrie très différente ont été étudiés, pour lesquels le compactage avait été plus ou moins poussé au moment de la fabrication des plaques où sont découpées les éprouvettes ; de ce fait, le pourcentage de vide de ces enrobés variait de 4 à 29 %.

En conclusion, il est possible d'obtenir avec une certaine approximation les valeurs de certaines grandeurs d'un enrobé correctement dosé en liant si l'on connaît :

- le type de bitume utilisé,
- les conditions de température et de temps de charges,
- le pourcentage en vide de l'enrobé.

La figure 2 est un abaque destiné à cet effet : il s'agit de la partie du nomographe de Van der Poel qui permet de calculer le module de rigidité du bitume dans la gamme qui nous intéresse, auquel nous avons adjoint un tableau à double entrée fonction du pourcentage de vide de l'enrobé.

La figure 2 permet d'avoir rapidement une idée de la valeur du module de rigidité des enrobés bitumineux, dans les conditions de température et de temps de charge qui correspondent à celles de leur utilisation sur la route. Toutefois, étant donné le nombre élevé de paramètres dont on a négligé l'influence, il faut se garder d'attribuer à cette valeur un caractère trop absolu. En fait, la précision de l'évaluation décroît avec le module de rigidité du bitume ; de ce fait, les valeurs du module de rigidité des enrobés obtenues pour un module de rigidité de bitume de 1 bar ne sont données qu'à titre indicatif. Dans la zone des bas modules de rigidité du bitume, qui coïncide avec le début des essais statiques, la valeur minimale que peut prendre le module de rigidité de l'enrobé commence à influencer les valeurs du module complexe. Au fur et à mesure que le bitume prend un comportement à prédominance visqueuse, il est logique que le granulat prenne de plus en plus d'importance dans l'enrobé bitumineux.

3 INFLUENCE DU RAPPORT FILLER BITUME

Les valeurs du rapport filler bitume utilisées varient de 0.5 à 3.

Des valeurs de 1.2 à 1.5 sont courantes pour les enrobés de surface.

La recommandation prévoit un rapport de l'ordre de 2 pour les couches de base.

L'étude du rôle du rapport filler bitume, toutes choses égales par ailleurs est malheureusement impossible, la courbe granulométrique et le % de vides varient en même temps. En outre, la valeur du rapport filler bitume doit être accompagnée de l'indication de la teneur en bitume pour que les constatations faites soient reproductibles.

D'une façon générale, l'augmentation du rapport filler bitume à teneur en bitume constante demande un enrobage plus énergique et entraîne tant que l'enrobage complet est compatible avec la teneur en filler atteinte un accroissement de la rigidité de l'enrobé. Il convient toutefois de signaler que les graves bitumes contenant 7 % de filler et dosées à 3.5 % de bitume restent facile à enrober en général. Dans la pratique l'accroissement notable de l'énergie de malaxage se manifeste essentiellement dans la confection des enrobés contenant plus de 20 % de filler et 7 à 8 % de bitume. Cet accroissement de la rigidité résulte d'une diminution de pourcentage de vides ; ainsi que d'une rigidification du mastic (mélange, filler bitume) dont le bille-anneau peut être très sensiblement augmenté.

4 INFLUENCE DE LA TENEUR EN BITUME

Les teneurs en bitume habituellement pratiquées varient entre 3 et 6.4 %.

Les teneurs de 3 à 4.5 % se rencontrent dans les graves bitume, pour couche de base, les valeurs habituelles des enrobés de surface oscillent autour de 6 % et les mélanges spéciaux peuvent atteindre 8.

Elles sont essentiellement influencées par la surface spécifique des matériaux. Celle-ci est très difficile à estimer avec précision car la porosité superficielle de certains matériaux peut entraîner de grandes variations.

Pour un matériau donné, on observe fréquemment un accroissement des performances (résistance à la traction et compression) pour une augmentation de la teneur en bitume jusqu'à un extremum puis une chute de ces performances. En général par sensibilité excessive au fluage. Il est à noter toutefois que les variations observées dans les performances sont d'amplitude beaucoup plus restreinte que celles enregistrées par la variation du rapport filler-bitume et à fortiori que celles qui résultent de la substitution de 2 bitumes de viscosités différentes. L'augmentation de la teneur en bitume s'accompagne également d'une augmentation de la compacité ce qui explique le comportement cité plus haut et entraîne en général un léger accroissement de module. La résistance au cisaillement présente un extremum (optimum) plus net encore que les résistances en traction et en compression.

La recherche d'une teneur optimale en bitume est également fortement guidée par la détermination de la résistance au désenrobage à l'eau (Duriez).

5 INFLUENCE DES GRANULATS

(angularité, granularité, nature)

Des variations sensibles dans les valeurs du module et des résistances sont constatées en changement les granulats ou la courbe granulométrique utilisée.

Les modifications de la courbe granulométrique entraînent essentiellement une variation de la compacité et de l'épaisseur du film de bitume entre les granulats, cette

variation correspond à une amélioration des performances et un accroissement du module lorsque la compacité croît. Des compacités élevées sont obtenues avec de fortes teneurs en fines et une énergie de compactage suffisante. Les courbes granulométriques discontinues conduisent à l'obtention de compacités plus fortes que les courbes continues.

Le rôle de l'angularité et du coefficient de forme est beaucoup plus difficile à caractériser. Les modules obtenus à faible amplitude de déformation dépendent peu de la forme géométrique des granulats. (module fort ou moyen supérieur à 10 3 Bars). Par contre les résistances en compression et cisaillement sont meilleures pour les granulats anguleux dont les dimensions sont voisines les unes des autres que pour les granulats de forme plate ou osculaire et surtout que pour les matériaux à tendance sphérique. Les matériaux roulés en particulier permettent très facilement d'obtenir des compacités élevées, mais sont très sensibles aux contraintes de cisaillement.

La nature minéralogique des agrégats influe essentiellement sur leur mode de rupture lors de concassage et leur forme que sur leur adhésivité avec les bitumes.

6 EXEMPLES D'ORNIERAGE - ANALYSE SOMMAIRE DES CAUSES

L'orniérage peut se produire dans toutes les couches bitumineuses de la chaussée. Jusqu'ici par facilité on a effectué des constatations d'orniérage plus fréquentes sur les couches de surface que sur les couches inférieures. Elles s'avèrent incomplètes et par là difficilement exploitables.

On peut néanmoins distinguer deux étapes dans ce phénomène :

A - Orniérage limité

Il se produit dans le premier âge de la chaussée (premier été), quel que soit l'enrobé. Généralement, il n'évolue plus que faiblement ensuite.

Cet orniérage semble être la superposition, d'une part, d'un phénomène de post-compactage- la compacité initiale augmente de quelques pour-cents- et d'autre part d'une déformation limitée due au glissement du matériau sur lui même (contraintes de cisaillement).

Dans certains cas, l'orniérage en surface est dû déformations des couches inférieures non traitées. Néanmoins, les constatations "in situ" sont difficiles voire impossibles.

B - Orniérage important

Dans certaines chaussées l'orniérage se poursuit et a rarement tendance à se stabiliser ; il peut aller jusqu'à provoquer la ruine du revêtement. Il est caractérisé par des déformations pouvant atteindre 20 % et de même plus.

Causes de l'orniérage

On peut donc dire que l'orniérage est l'accumulation des déformations résiduelles de la chaussée sous le passage des roues qui ne sont pas distribuées uniformément sur le profil en travers de la chaussée.

On peut distinguer néanmoins les facteurs principaux qui interviennent dans ce phénomène. On les illustrera, avec les informations dont on dispose, par trois exemples de chaussées ayant orniéré qui vont suivre. On verra alors qu'il est difficile d'évaluer le degré d'importance respectif de ces facteurs sur route.

1- Trafic

1-a - Importance des contraintes :

- Poids de l'essieu
- Pression du pneu
- Présence des forces horizontales (zones de freinage, de virage, d'accélération)

1-b - Répétition des charges (cas des vitesses très lentes)

2- Le bitume

Caractère viscoélastique du bitume et sa dépendance par rapport à la température de la route et au temps de charge.

3- La température

Facteur important de l'orniérage dont l'action est déterminante sur les déformabilité du bitume dans l'enrobé.

4- Squelette minéral

- Angularité des granulats trop faibles
- Qualités du filler

5- Mélange : granulat et bitume

Le pourcentage de liant et des différentes fractions granulométriques sont des paramètres très importants dont les effets sur l'orniérage sont complexes et fréquemment interdépendants. Néanmoins on peut distinguer certaines causes, notamment :

- Pourcentage de liant excessif
- Liant trop mou
- Rapport filler bitume insuffisant.

7- EXEMPLE DE FORMULATION ANTI-ORNIERAGE

Conscients que les problèmes d'orniérage peuvent apparaître à tous les niveaux d'une chaussée, nous nous proposons de citer quelques exemples de formulation de produits bitumineux destinés à constituer les couches de fondation, de base ou de surface de différentes chaussées aptes à résister au fluage (surface : liaison + roulement).

Nous n'insisterons pas sur l'aspect spécifique de chacun des problèmes et il reste entendu que le technicien chargé de proposer une formule aura tenu compte de l'influence particulière des facteurs géographiques et climatiques locaux. En ce qui concerne l'aspect financier, les solutions retenues devront être réalistes et tenir le plus grand compte des conditions économiques du moment dans la région considérée.

Sur le plan général que nous nous proposons de développer, nous ferons la remarque préliminaire suivante :

Les problèmes d'orniérage sont les plus marqués pour les couches de surface car les deux causes principales de déformation permanente tendent à diminuer dans la profondeur de la chaussée :

- sur le plan mécanique les charges sont de mieux réparties ;
- sur le plan thermique l'élévation de la température due à l'ensoleillement diminue avec la profondeur.

Il faut noter que toutes les possibilités d'intervention sur la formulation que nous allons citer, ont un même but : fabriquer des produits enrobés à structure peu évolutive et par conséquent plus aptes à résister au fluage. Ce "raidissement" des formules devra tenir compte des conditions de fatigue et le technicien devra admettre qu'il doit réaliser un compromis entre les résistances au fluage et à la fatigue.

Parmi l'ensemble des mesures pouvant améliorer la tenue au fluage nous citerons :

- 1) - Utilisation d'agréats durs afin de diminuer l'attrition et la rupture des grains transformant le squelette minéral initial en un squelette plus fin.
- 2) - Utilisation de granulats totalement concassés (ou comportant le plus possible d'éléments concassés). Il semble en particulier que le concassage de la fraction sable constituant le mortier soit encore plus important que le concassage de la fraction gravillon. L'utilisation de tels granulats concassés devant augmenter le frottement interne des produits bitumineux et par conséquent gêner les mouvements relatifs des éléments minéraux.
- 3) - Utilisation de granularités à fort pourcentage en gravillons dans le même but de freiner les mouvements relatifs.
- 4) - Teneur en filler élevée. La notion de liant constitué par le mélange filler-bitume étant de plus en plus admise. Ce " liant " au sens nouveau du terme appelé " mastic " ayant une consistance supérieure au seul produit hydrocarboné (essai bille et anneau). Il y aura lieu d'insister sur la notion du rapport filler /bitume ainsi que sur sa valeur (F/B tend vers 2).
- 5) - Utilisation de bitume durs. Il sera souhaitable d'envisager l'utilisation d'un bitume plus dur au moins de la classe suivant celle du bitume couramment utilisé.
- 6) - Faible teneur en bitume. Les constatations ayant apparaître que dans de nombreux cas de fluage l'excès de bitume se traduisait par une lubrification des granulats plutôt que par une cohésion stable du mélange (coefficient de remplissage des vides).
- 7) - Forte compacité des enrobés en place (de l'ordre de 94 %). Cette forte compacité devant améliorer le rangement des éléments minéraux les uns par rapport aux autres afin de diminuer les possibilités de mouvements relatifs.

Sur le chantier, cette forte compacité pourra être atteinte par un compactage puissant mais surtout par le répandage en couches épaisses et d'une façon plus générale en une seule couche après reprofilage (exemple : 8 cm en une seule couche est préférable à 4 cm x 2 ; cette technique ayant de plus une incidence favorable sur le prix de revient : 1 seul répandage).

Cette liste de mesures n'est évidemment pas exhaustive toutefois (nous pensons que) dans la plupart des cas de formulation elle sera suffisante pour donner un caractère anti-fluage nettement marqué à la formule retenue tenant compte de ces recommandations.