

# **CONTRIBUTION A L'EVALUATION DU COMPORTEMENT DES BITUMES FLUIDIFIES**

**Abdelhakim JAKANI**  
*Chef du CERIT - LPEE*

Sur les 59.000 Kms que comporte le réseau routier marocain, 28.800 sont revêtus. Ce réseau revêtu qui représente pratiquement 140 à 160 millions de m<sup>2</sup> nécessite un entretien régulier et très soutenu, ce qui absorbe une enveloppe budgétaire loin d'être négligeable dans les crédits routiers.

La technique de renouvellement de couche de surface en enduit superficiel bicouche est une technique extrêmement répandue dans la panoplie des techniques courantes de l'entretien au Maroc.

Le CPC préconise pour les enduits superficiels l'utilisation des liants suivants :

- \* Les émulsions acides à 60 et 65% de bitume.
- \* Les Cut-Back 400/600 et 800/1400.

Il faut cependant noter que la grande majorité des chantiers d'entretien routier utilisent très fréquemment les bitumes fluidifiés, les émulsions étant plus difficilement stockables que les Cut-Back et sujettes aux ruptures précoces et à la décantation.

Le Cut-Back utilisé, jusqu'en juin 1989 a toujours été le CB 400/600 fabriqué à la SAMIR et contrôlé régulièrement par les laboratoires de la SAMIR et du LPEE.

Les essais de contrôle effectués par le LPEE ont, en général, révélé une conformité des caractéristiques du liant aux normes prescrites par le CPC.

**Statistiques sur 118 échantillons de CB/400/600  
prélevés entre le 07/01/88 et le 20/06/89 (18 mois)**

|                                      | VISCOSITE                       | DENSITE        | DISTILLATION FRACTIONNEE |         |           | PENETRATION<br>RESIDUELLE |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|--------------------------|---------|-----------|---------------------------|
|                                      |                                 |                | 225                      | 315     | 360       |                           |
| SPECIFI. CPC                         | 400 à 600                       | 0,92 à<br>1,04 | inf à 2%                 | 5 à 12% | inf à 15% | 80 à 200                  |
| Moyenne                              | 493                             | 1,014          | 0,292                    | 8,26    | 10,02     | 164                       |
| Ecart type                           | 71                              | 0,005          | 0,248                    | 1,25    | 0,685     | 24                        |
| Maxi                                 | 612                             | 1,020          | 1,000                    | 12,60   | 11,70     | 247                       |
| Mini                                 | 209                             | 1,000          | 0,00                     | 6,10    | 8,60      | 109                       |
| Nombre des<br>valeurs hors<br>normes | 5 inf à 400<br>2 sup à 600<br>7 | 0              | 0                        | 0       | 0         | 3 sup à 200<br>0 inf à 80 |
| %                                    | 6 %                             | 0 %            | 0 %                      | 0 %     | 0 %       | 2,5 %                     |

## I/HISTORIQUE DES ANOMALIES DES CB 400/600.

A partir de Mars 1984, il a été signalé sur quelques rares chantiers de revêtement superficiel, des anomalies de comportement du bicouche en cours de durcissement. Ces anomalies ne pouvaient pas être imputées à la qualité des gravillons ou au mode d'exécution du bicouche (dosages en granulats, dosages en liant, préparation du support etc...) car ces paramètres ont été vérifiés avant le démarrage du chantier et pendant le déroulement des travaux. Seul, le liant pouvait être incriminé dans ce type d'anomalie, d'autant plus que la mauvaise tenue des granulats était visible à l'oeil nu, c'est-à-dire que l'on pouvait arracher un granulat de la chaussée, à la main, sans vraiment faire d'effort, et l'on voyait, collé au granulat, un liant visqueux, brillant, et s'effilant en filaments fins et allongés.

Malgré ces anomalies de durcissement du liant, les résultats des essais de contrôle de qualité, effectués sur ces mêmes liants, ne détectaient aucune non-conformité aux spécifications du CPC.

La conclusion qui avait été tirée à l'époque était qu'il pouvait y avoir un lot isolé de Cut-Back défectueux du point de vue durcissement tout en étant conforme aux spécifications du CPC.

Deux années plus tard, c'est-à-dire au printemps 1986, des anomalies de comportement du bicouche en bas âge ont été signalées sur 3 ou 4 chantiers de plan de campagne de revêtement. Et à nouveau, les expertises avaient révélé que l'anomalie ne pouvait provenir que du liant, malgré sa conformité aux normes de fabrication.

Dès lors, les responsables routiers ont été convaincus de la nécessité de mettre au point d'autres méthodes d'essais ou d'analyse afin de mieux cerner la qualité des bitumes fluidifiés. En effet les essais classiques, bien que nécessaires pour identifier complètement un Cut-Back, ne sont pas à eux seuls, suffisants pour déterminer le comportement du liant sur le plan du durcissement.

A partir de 1987, le LPEE s'est penché sur la question de "comment tester le durcissement normal des CB?"

Après plusieurs tâtonnements, en testant la vitesse d'évaporation dans une atmosphère ventilée et thermostatée, en faisant varier la température de l'étuvage, en faisant varier également le mode d'exposition de l'échantillon de CB : en film mince ou dans le godet standard de pénétration etc...

Ces méthodes basées sur la vitesse d'évaporation n'avaient pas donné la satisfaction attendue, car l'on soupçonnait la présence dans le bitume fluidifié d'un solvant trop lourd à évaporer en atmosphère naturelle, par exemple un kérosène coupé légèrement d'huile d'hydrocarbure, un tel solvant peut garantir une viscosité conforme, une pénétration résiduelle conforme, mais ne pas permettre le durcissement complet du liant du fait que les huiles lourdes restent captives des macromolécules du bitume de base. Ces huiles, en quantité très faible, ne seraient pas détectées par l'essai de distillation fractionnée, car les fourchettes de tolérance de cet essai sont relativement larges.

Il fallait donc orienter les recherches vers l'étude du comportement du liant après durcissement en essayant de quantifier la qualité de ce durcissement. Il fallait par conséquent mettre au point un nouvel essai.

## **II/ MISE AU POINT D'UN NOUVEL ESSAI.**

L'essai à mettre au point dans ces conditions devait répondre à un certain nombre de critères à savoir :

1) Simuler le plus possible les conditions les plus courantes de chantier : Température de répannage - Température de séchage - pression atmosphérique - ventilation - mode de répannage du liant etc...

2) Etre très rapide de façon à pouvoir se prononcer très vite sur la qualité des liants afin de ne pas réaliser de trop grandes surfaces avec un CB douteux ou défectueux.

3) Etre le plus simple possible de façon à pouvoir réaliser cet essai sur un chantier même, et à travers de nombreux laboratoires, sans avoir à faire usage de matériels complexes ou sophistiqués.

4) Pouvoir donner une valeur qui puisse quantifier la qualité du comportement après murissement du CB, valeur qui doit être la plus constante possible pour un même liant, séché dans les mêmes conditions.

En partant de ces considérations, il a été imaginé au LPPE/CERIT en 1987 un essai qui consiste à mesurer la force nécessaire pour arracher une petite plaque collée au fond d'un plateau par un CB séché en étuve.

Pour répondre à la 1<sup>ère</sup> condition citée précédemment, le CB est chauffé à 120°/130°c température de répandage sur chantier puis déversé dans un plateau de dimension 25 cm x 30 cm à raison de 1,1 Kg/m<sup>2</sup>. C'est-à-dire 82 grammes, ce dosage a été choisi pour que l'épaisseur du film du liant étalé au fond du plateau soit à peu près celle du chantier. Le plateau est également chauffé préalablement à 120°c de façon à éviter un refroidissement brutal du liant au contact du plateau.

Deux plaques circulaires identiques de diamètre 10 cm et d'épaisseur 1mm sont immédiatement posées sur le film de liant. Ces plaques circulaires sont également préalablement chauffées à 105°c afin de ne pas provoquer un refroidissement brutal du liant à leur contact. Ces plaques sont trouées, les trous sont circulaires et de diamètre 8 mm. Les trous sont prévus pour faciliter l'évaporation du solvant durant le durcissement du CB par séchage, leur nombre est de 72 trous par plaque (le taux des "vides" est ainsi de 46% : rapport entre la surface vide et la surface totale).

L'ensemble : plateau + plaques + liants, est introduit dans une étuve ventilée et réglée à 150°c. Il est évident que pour mieux simuler les conditions atmosphériques naturelles, il aurait fallu régler l'étuve sur 25 à 40°c, mais ceci aurait l'inconvénient de faire durer le séchage plusieurs jours et l'on serait en contradiction avec la condition n° 2 (condition de rapidité). De même on aurait pu choisir une température de séchage plus élevée 140 ou 150°c par exemple pour écourter la durée, mais pour des raisons de simplicité, la température de 105°c a été choisie de telle sorte que les petits laboratoires qui ne disposent que d'une étuve, puissent utiliser la même étuve que celle réservée aux essais de sol.

Le séchage est effectué ainsi à 150°c durant une demi-heure, ensuite l'ensemble est mis à la température ambiante pendant 15 minutes de façon à ce qu'il se refroidisse normalement. Ensuite, le plateau est fixé dans un bain marie réglé à 25°c. Le plateau est en fait fixé sur le bain thermostatique en immergeant dans le bain marie le plateau jusqu'au 2/3 de sa hauteur. Le but étant de maintenir le film du liant séché, pendant toute la durée de l'essai, à 25°c exactement. Ceci est nécessaire pour pouvoir s'affranchir de l'influence du paramètre température d'essai, car la condition n° 4 (répétabilité) exige de maîtriser la température de l'essai et la vitesse d'arrachement des plaques, puisque tous les produits visco-élastiques sont extrêmement sensibles à la vitesse de sollicitation et à l'état rhéologique, lui même directement lié à la température du matériau.

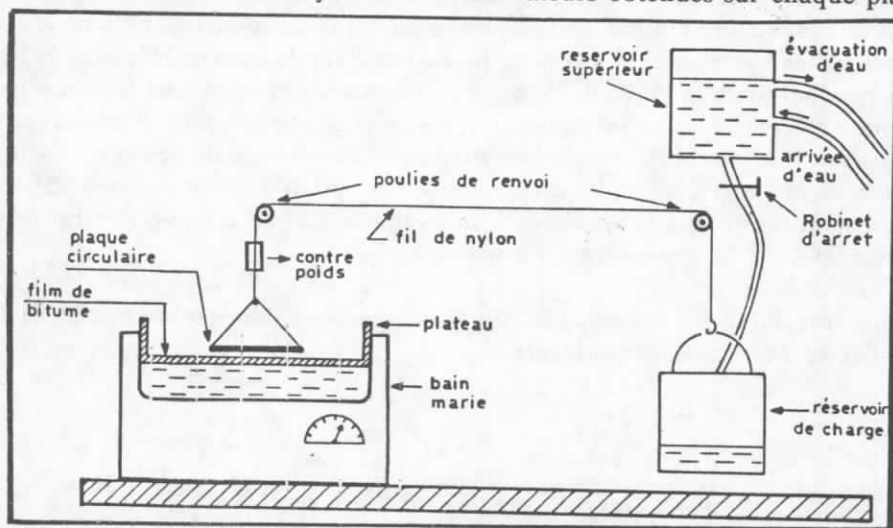
Après une durée de 15 minutes à 25°c, les plaques circulaires sont arrachées l'une après l'autre de la manière suivante :

Un fil souple de nylon relie un sceau cylindrique et la plaque à arracher par l'intermédiaire de deux poulies de renvoi. La plaque est munie de 4 petits anneaux soudés à sa périphérie et permettent la fixation au fil de nylon par un crochet. Le sceau se charge progressivement par un écoulement d'eau constant. Il s'alourdit ainsi et tire la plaque du fond du plateau. La masse d'eau nécessaire à l'arrachement total est pesée et elle est considérée comme la valeur de l'arrachement (appelée coefficient CERIT).

La vitesse de montée en charge est fixée par le débit de l'eau dans le sceau, la constance de ce débit est assurée par une charge hydraulique constante, en effet, l'eau de lestage provient d'un réservoir supérieur placé au-dessus du sceau à charger, et le niveau d'eau dans le réservoir supérieur est maintenu constant grâce à une alimentation latérale continue et placée au 1/3 de la hauteur, et un orifice latéral placé aux 2/3 de la hauteur pour évacuer le surplus d'eau (Trop-plein). La vitesse de montée en charge est de 0,750 Kg/mn, c'est-à-dire 1 litre d'eau toutes les 80 secondes.

D'autre part, les matériaux bitumineux étant très souvent susceptibles thermiquement, il est possible de provoquer des déformations non négligeables par une petite sollicitation, pourvue que cette sollicitation soit de durée suffisamment longue. Le sceau de remplissage peut donc, même à vide, solliciter par son propre poids, la plaque à arracher. Dans ces conditions un contre-poids de valeur égale à la masse à vide du sceau, est fixé sur le fil de nylon du côté de la plaque afin d'éliminer l'influence parasite de la tare du sceau de réception d'eau, pendant les préparatifs de l'essai : fixation du plateau, fixation de la plaque au crochet du fil de nylon, vérification de la verticalité du fil, centrage du fil et son crochet sur plaque etc...

L'essai est prévu pour l'arrachement de deux plaques et la valeur finale du coefficient CERIT est la moyenne des deux valeurs obtenues sur chaque plaque.



Pour tester la répétabilité de l'essai, un échantillon de CB 400/600 a été soumis 14 fois à l'essai d'arrachement. L'échantillon choisi avait les caractéristiques suivantes :

- Densité à 25°C = 1,01
- Viscosité BRTA à 25°C = 497 secondes
- Distillat à 190°C = 0%
- Distillat à 225°C = 1%
- Distillat à 315°C = 8,6%
- Distillat à 360°C = 10,6%
- Pénétration résiduelle = 187 - (1/10mm) à 25°C

Les résultats obtenus sur les 14 échantillons issus d'une même prise de CB étaient les suivants :

|    |       |      |
|----|-------|------|
| 1  | ..... | 3365 |
| 2  | ..... | 3286 |
| 3  | ..... | 3405 |
| 4  | ..... | 3235 |
| 5  | ..... | 3570 |
| 6  | ..... | 3415 |
| 7  | ..... | 2910 |
| 8  | ..... | 3135 |
| 9  | ..... | 3155 |
| 10 | ..... | 2963 |
| 11 | ..... | 3090 |
| 12 | ..... | 2866 |
| 13 | ..... | 3072 |
| 14 | ..... | 3247 |

La moyenne de ces valeurs est : 3193 avec un écart type de 198. On voit donc que ce coefficient peut varier pour un même échantillon de CB 400/600 de 2866 à 3570 autour d'une valeur moyenne de 3200 grammes environ, l'écart type de 200 grammes représente en fait un coefficient de variation de 6,2%. Il faut remarquer que les essais qui ont donné les valeurs extrêmes par exemple 2866g - 2910g - 3570g ont été des essais où la plaque ne s'est pas soulevée de façon nette (léger basculement de la plaque par exemple). On peut donc considérer que cet essai a une précision de l'ordre de 6% et qu'un CB 400/600 n'ayant pas provoqué d'anomalie à la mise en oeuvre sur chantier doit avoir un coefficient CERIT supérieur à 3000 grammes.

### III/ QUELQUES RESULTATS.

Au mois d'avril et mai 1989, de nouvelles anomalies de comportement du revêtement ont été signalées. Outre les expertises à effectuer sur les lieux et les différentes analyses possibles du phénomène, le LPEE a exécuté systématiquement des essais d'arrachement sur les prélèvements du CB 400/600 à partir du 20/05/89. Les résultats se présentaient de la manière suivante :

| DATE     | VISCOSITE<br>(CPC : 400 à 600) | PENETRATION<br>RESIDUELLE<br>(CPC : 80 à 200) | COEF. CERIT<br>D'ARRACHEMENT |
|----------|--------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|
| 20/05/89 | 209                            | 212                                           | 2624                         |
| 25/05/89 | 487                            | 188                                           | 4445                         |
| 01/06/89 | 531                            | 169                                           | 4290                         |
| 08/06/89 | 454                            | 197                                           | 3362                         |
| 14/06/89 | 457                            | 207                                           | 3256                         |
| 20/06/89 | 565                            | 197                                           | 4543                         |

On constate qu'effectivement, l'échantillon du milieu du mois de mai 89 ayant une viscosité défectueuse et une pénétration légèrement défectueuse présente un coefficient d'arrachement inférieur à 3000 grammes. Tous les autres sont nettement meilleurs.

A partir du 20 juin 1989, et après les expertises effectuées sur le terrain et sur les lieux de fabrication des liants et au LPEE, il a été décidé de procéder à l'utilisation des Cut-Back 800/1400 plus appropriés au climat marocain et surtout contenant un peu moins de solvants que les CB 400/600. Il a été également demandé à la SAMIR de revoir la méthode de fabrication des CB 400/600 en faisant varier la manière d'obtenir le bitume de base (le 80/100) et en faisant varier la fluidification. 5 échantillons de CB 400/600 ont été ainsi élaborés et soumis aux essais classiques et à l'essai spécial d'arrachement. Les résultats se présentaient comme suit :

| ECH.<br>N° | VISCO. | DENSITE | DIST<br>190 | DIST<br>225 | DIST<br>315 | DIST<br>360 | PENET.<br>RESID | CCA  |
|------------|--------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|------|
| A          | 523    | 1,01    | 0           | 0           | 6,0         | 8,2         | 198             | 3396 |
| B          | 606    | 1,01    | 0           | 0           | 6,1         | 8,8         | 236             | 3645 |
| C          | 789    | 1,01    | 0           | 0           | 7,5         | 10,0        | 138             | 4962 |
| D          | 736    | 1,01    | 0           | 0           | 0           | 0           | >350            | 903  |
| E          | 392    | 1,01    | 0           | 0,2         | 12,6        | 15,4        | 83              | 3383 |

Ces essais avaient permis de déterminer la meilleure manière de fabriquer un CB 400/600 conforme aux normes du CPC tout en donnant un CCA satisfaisant.

D'autre part, et afin d'évaluer la sensibilité de l'essai spécial LPEE, le LCPC de Paris qui avait été consulté à ce sujet, avait suggéré de réaliser l'essai sur des échantillons extrêmes, c'est-à-dire un 80/100 pur sans aucun solvant, et un CB 400/600 frais n'ayant subi aucun séchage. Le CCA obtenu sur un bitume de classe 80/100 en juillet 89 était de 10.100 g et celui obtenu sur un CB 400/600 de juin 89 sans séchage était de 950 g. On en conclut que la plage de variation du CCA peut être de 1 à 10 Kg.

A partir de juillet 1989, tous les chantiers de revêtement superficiel utilisaient le CB 800/1400. Le contrôle ordinaire du LPEE a continué de façon normale. Les essais d'arrachement ne sont devenus systématiques sur le CB 800/1400 qu'à partir du mois de septembre 1989, c'est-à-dire après une période de deux mois de mise en place du nouveau produit.

Les résultats obtenus sur les CB 800/1400 au cours des 4 derniers mois de l'année 1989 ont été comme suit :

| DATE     | VISCOSITE<br>à 40° :<br>80 à 200 | D/190 | D/225 | D/315 | D/360 | PENET.<br>RESID.<br>80 à 200 | CCA  |
|----------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|------|
| 07/09/89 | 127                              | 0     | 0     | 4,8   | 7,0   | 228                          | 1700 |
| 21/09/89 | 129                              | 0     | 0     | 4,2   | 6,5   | 248                          | 1780 |
| 28/09/89 | 132                              | 0     | 0     | 4,3   | 6,8   | 266                          | 1820 |
| 05/10/89 | 149                              | 0     | 0     | 3,0   | 3,8   | 350                          | 3350 |
| 11/10/89 | 134                              | 0     | 0     | 4,5   | 6,6   | 246                          | 3195 |
| 19/10/89 | 104                              | 0     | 0     | 4,5   | 6,8   | 275                          | 2625 |
| 02/11/89 | 135                              | 0     | 0     | 5,0   | 7,3   | 172                          | 4880 |
| 23/11/89 | 166                              | 0     | 0     | 4,8   | 7,4   | 163                          | 4940 |
| 07/12/89 | 94                               | 0     | 0     | 5,0   | 7,2   | 165                          | 4230 |
| 14/12/89 | 106                              | 0     | 0     | 4,8   | 7,4   | 166                          | 4114 |
| 21/12/89 | 137                              | 0     | 0     | 5,0   | 7,0   | 192                          | 4050 |
| 28/12/89 | 152                              | 0     | 0     | 4,6   | 6,9   | 178                          | 4470 |

Selon ce tableau, on remarque que le CCA est un paramètre pratiquement indépendant de la viscosité et de la distillation fractionnée, qu'il est très sensible aux fluctuations de fabrication et qu'il est indirectement lié à la pénétration résiduelle, ce qui est normal puisque l'essai CCA teste la cohésivité du Cut-Back après durcissement, et l'essai de pénétration résiduelle teste la "raideur" du liant après départ des solvants. On remarque également que sur les CB 800/1400 le CCA ne s'est amélioré qu'à partir de fin octobre 89, et ceci coïncide avec l'amélioration du paramètre résiduelle.

## CONCLUSION

En conclusion, on peut dire que l'essai spécial d'arrachement peut contribuer à l'amélioration des connaissances du comportement des bitumes fluidifiés, qu'il peut servir de "sonnette d'alarme" pour prévenir des anomalies de comportement des couches de revêtement superficiel lors des travaux de renforcement et surtout d'entretien, et que des spécifications provisoires peuvent être d'ores et déjà instaurées et il est possible de suggérer les limites suivantes :

- 3,0 Kg pour le CB 400/600
- 3,5 Kg pour le CB 800/1400