

VEILLISSEMENT DES BITUMES ET EFFET SUR LES PERFORMANCES DES ENROBES BITUMINEUX

AFECHKAR Mohamed – Chef de Service Recherche / CNER – DRCR

INTRODUCTION

La durabilité et les performances des chaussées dépendent principalement des matériaux dont les caractéristiques ne sont pas constantes, mais évoluent avec le temps comme toutes autres substances organiques. Ils sont soumis à des changements notables dus aux conditions environnementales durant leurs différentes phases d'utilisation.

Les bitumes sont soumis, en effet à des phénomènes de vieillissement qui entraînent des modifications de leurs paramètres mécaniques et rhéologiques et de leur structure chimique. Dans le but de prédire l'évolution de leurs propriétés, in situ, aussi précisément que possible, deux types de tests de vieillissement sont exploités par les professionnels : RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) dans lequel la haute température à laquelle est soumis l'échantillon, reproduit le processus d'oxydation à court terme avec une perte des éléments volatils comme cela est observé dans les phases initiales d'enrobage, et le PAV (Pressure Ageing Vessel) qui simule alors le vieillissement à long terme englobant différents facteurs comme la nature du bitume, les conditions climatiques, ...

Ce vieillissement des bitumes, fait perdre aux revêtements bitumineux leur flexibilité, engendre une augmentation de la rigidité de l'enrobé et provoque la dégradation de l'enrobé lui-même causée par le phénomène de fatigue structurale. Ce phénomène est du essentiellement à deux mécanismes :

- La volatilisation (évaporation) des huiles présentes dans le bitume à cause des températures élevées au cours de la fabrication des enrobés bitumineux;
- La dégradation de certaines huiles par l'effet de la lumière (la photodégradation) ;
- L'oxydation produite par les réactions avec l'oxygène de l'air ambiant ;

Outre les matériaux routiers, il est bien connu que de nombreux autres facteurs (climat, fatigue de l'enrobé dû au trafic, qualité du bitume, formulation du complexe bitumineux) conditionnent la durée de vie des chaussées. Les chaussées sont souvent affectées par des désordres de fissurations, arrachements,... qui sont en partie liés aux effets du vieillissement du bitume, qui selon sa nature, va plus ou moins durcir avec le temps.

Devant l'intérêt croissant d'améliorer la durabilité des chaussées, il est nécessaire de connaître les phénomènes qui engendrent les évolutions du comportement des liants et leurs effets sur les performances mécaniques des bétons bitumineux.

La présente communication essaye de présenter les premiers résultats d'une recherche bibliographiques et d'une étude de laboratoire menée au CNER pour éclaircir l'effet de vieillissement sur:

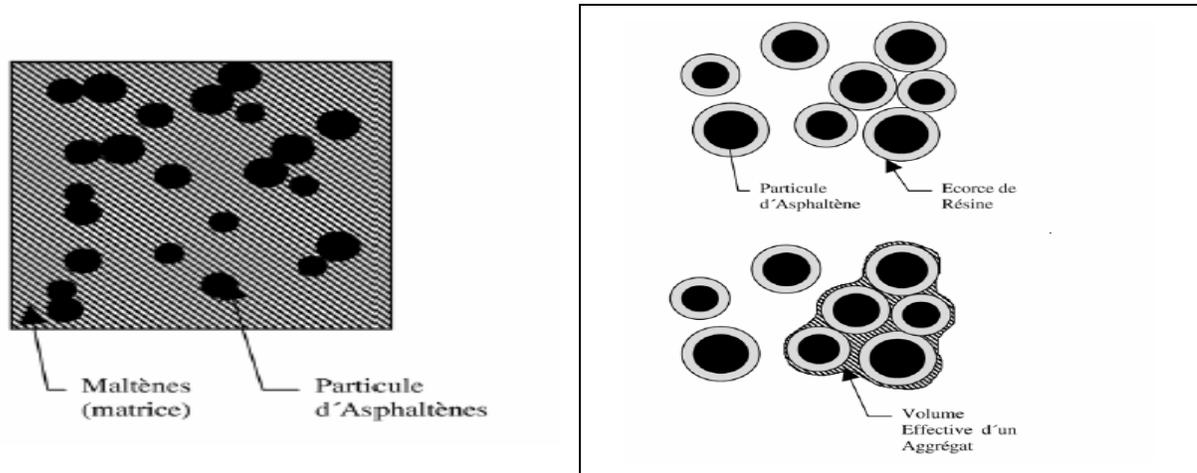
- La pénétrabilité, la TBA et la ductilité des bitumes ;
- La cohésion du bitume,
- la résistance à la fatigue ;
- la tenue à l'eau ;

- la rigidité ;
- la stabilité,...

I- LE VEILLISSEMENT DES BITUMES

1 - Rappel sur la composition du bitume

Le bitume se présente comme un système colloïdal dans lequel les asphaltènes peptisés par les résines constituent les micelles, tandis que les huiles représentent la phase intermicellaire.



Composition chimique du bitume

Les maltènes constituent la phase continue, dans laquelle les « asphaltènes » constituent la phase dispersée.

Ce système peut être considéré comme un « sol » présentant les caractéristiques liquides newtoniens. Toutefois les asphaltènes peuvent être plus ou moins floclés. A des degrés variables, le bitume se comporte alors comme un « gel » et possède les caractéristiques des liquides non newtoniens.

Ce comportement particulier est très bien illustré par les essais de mesure de module. Outre l'influence de la température et du temps de charge, le module de bitume dépend également :

- ✓ de sa consistance (caractérisée par sa catégorie). C'est ainsi que pour des mêmes conditions de température et de temps de charge, un bitume dur type 40/50 sera beaucoup plus rigide qu'un bitume mou du type 180/220.
- ✓ De sa susceptibilité thermique (c'est-à-dire sa sensibilité à la température) caractérisée par l'indice de pénétrabilité IP.

2 - Facteurs régissant le vieillissement des bitumes

Comme toute matière d'origine organique, le bitume subit des phénomènes d'évolution et d'altération.

Si l'on considère les différentes étapes de son utilisation, le bitume routier évolue dans le sens de durcissement progressif depuis le stade du stockage en raffinerie jusqu'au stade ultime de la vie du revêtement en service, en passant par ceux de transport, de fabrication des enrobés en centrale, du stockage éventuel de ce dernier et de sa mise en œuvre.

En effet, l'évolution du bitume s'opère suivant des mécanismes complexes à la fois, physiques et chimiques tel que l'évaporation des fractions les plus volatiles, le réarrangement du système colloïdal au cours du refroidissement après mise en œuvre, mais on peut conclure que l'oxydation des composants du bitume est le facteur principal du durcissement lors de ce processus, si les éléments saturés restent relativement stables, on constate un appauvrissement en éléments résines puis en asphaltènes suivant le schéma de transformation suivant :

Cycliques → Résines → Asphaltènes

Différents paramètres interviennent donc sur la vitesse de vieillissement du bitume :

- ✓ L'oxydation
- ✓ La volatilisation
- ✓ la température,
- ✓ la lumière et en particulier les ultraviolets en surface des revêtements,
- ✓ l'épaisseur des films de bitume,
- ✓ l'humidité des granulats,
- ✓ le pourcentage des vides
- ✓ les charges statiques et dynamiques, etc.
- ✓ La nature intrinsèque du bitume conditionne également son évolution.

Ainsi, la résistance des bitumes au vieillissement dépend de son indice d'instabilité colloïdal définie par :

$$Ic = (As+S) / (Ar+R).$$

Avec As (% Asphaltènes), S (% Saturés), Ar (%Aromatiques), R (%Résines).

Plus ce rapport est faible, meilleure est la résistance au vieillissement du bitume. De ce fait, les bitumes de type sol, auront a priori une meilleure résistance au vieillissement que les bitumes de type gel, en particulier des bitumes de soufflage.

3 Essais qui simulent le vieillissement

Les essais les plus représentatifs pour la simulation du vieillissement du bitume en laboratoire sont l'essai RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) et l'essai PAV (Pressure Aging Vessel). Ceux-ci simulent très convenablement le durcissement des bitumes :

- ✓ Au stade de la fabrication de la mise en oeuvre des enrobés bitumineux (RTFOT) ;
- ✓ Au stade de mise en service (PAV).

4 Vieillissement lors de la fabrication et mise en œuvre

Lors de la fabrication et de la pose des enrobés, (enrobage, malaxage, réglage, compactage et refroidissement), le bitume réparti en film mince sur les granulats, chauffé à une température de 160-170°C en présence d'air, subit un choc thermique qui entraîne un vieillissement rapide essentiellement chimique. Il y a un apport d'énergie important qui provoque une oxydation violente et rapide du bitume.

Essai RTFOT

Afin de prévoir l'évolution du bitume pendant l'enrobage, des méthodes de simulation du vieillissement ont été mise au point et normalisées :

- ✓ En 1940 le Thin Film Oven Test (TFOT)

- ✓ En 1963 le Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT)

Le test retenu est RTFOT selon la norme AFNOR. Cet essai a été validé par une importante expérimentation en 1987 et 1989 prouvant la pertinence du RTFOT à simuler le vieillissement du bitume au cours de l'enrobage. En général, ce vieillissement se traduit par la chute d'une classe de pénétrabilité pour les bitumes routiers.

Pour l'essai RTFOT, le bitume placé en film mince, est régulièrement exposé à un flux d'air chaud (163°C) pendant 75 min. on peut mesurer ensuite, sur le bitume récupéré, l'évolution de certains caractéristiques, notamment celles de consistance : la température de ramollissement bille et anneau la pénétrabilité à 25°C.



Eprouvettes RTFOT



Etuve RTFOT

5 - Vieillissement in situ (sur route)

Les causes de vieillissement des bitumes sur route sont dues à un certain nombre de facteurs comme :

- Le type de bitume (origine et mode de fabrication)
- La porosité de l'enrobé caractérisé par le pourcentage de vide. ce paramètre conditionne la circulation d'air et d'eau dans l'enrobé,
- La température : les réactions d'oxydation sont accélérées par une augmentation de la température,
- Les rayons ultraviolets du soleil : les UV n'accèdent qu'à la partie en surface de l'enrobé,
- La nature des agrégats.

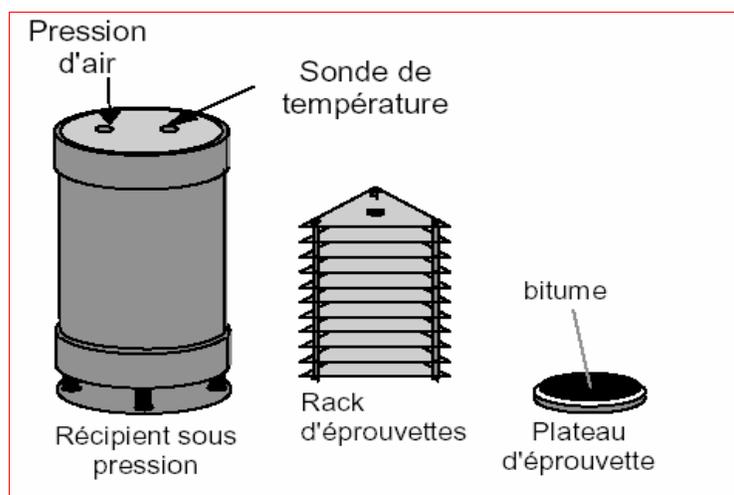
Sur la route, les températures moyennes de services sont faibles et les circulations de l'air et l'eau sont considérablement diminuées puisque la réalisation d'une route nécessite le compactage de l'enrobé obtenu en sortie de centrale. L'énergie apportée est faible et la cinétique des oxydations est ralentie. L'oxydation du bitume une fois en place est donc différente de celle à l'enrobage.

PAV " Pressure Aging Vessel "

Cet essai est employé pour caractériser le vieillissement in situ. Le résidu de l'essai RTFOT est chauffé et versé dans des plateaux métalliques qui constituent les éprouvettes de l'essai PAV. Ces plateaux sont rangés dans un rack qui sera placé dans un récipient dans l'enceinte thermique. A la température de l'essai une pression d'air est appliquée (2.1 MPa) dans le récipient (de 50 g). Après une durée de vingt heures, la pression est diminuée lentement (8 à 10

min). Les plateaux d'éprouvettes sont placés ensuite dans un four à 163°C pendant 30min. on mesure ensuite les propriétés habituelles du liant : pénétrabilité et température de ramollissement bille et anneau. Ces valeurs, dites après PAV, sont alors comparées aux valeurs initiales et aux valeurs obtenues après RTFOT.

A travers cette essai, On simule le vieillissement de 5 à 10 ans d'un bitume in situ.



Essai PAV

II - EFFET DE VIEILLISSEMENT SUR LE BITUME ET L'ENROB2 BITUMINEUX

L'étude du laboratoire a porté sur la réalisation des essais d'identification du bitume avant et après vieillissement et aussi sur un enrobés bitumineux confectionnées avec un bitume pur vieilli et non vieilli.

1 - Effet du vieillissement sur le bitume

Les résultats d'essais réalisés sur le bitume sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

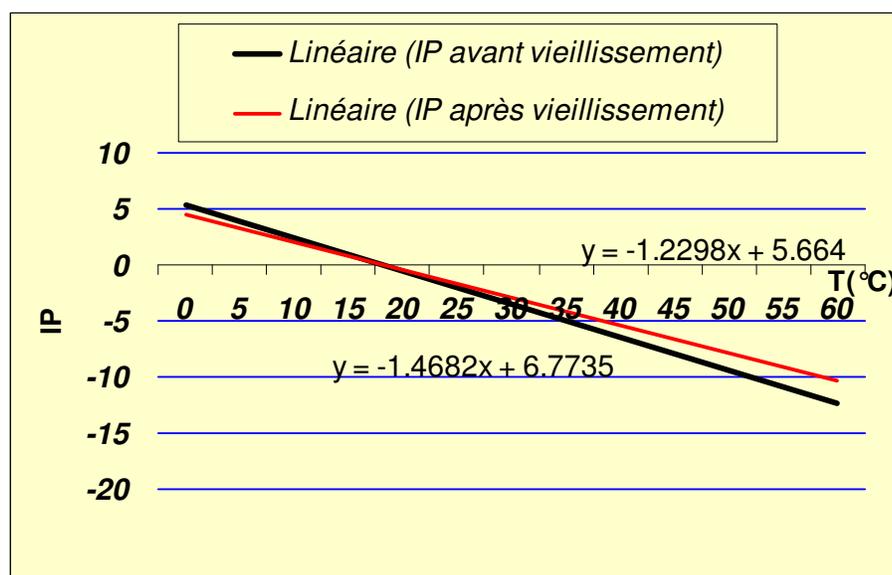
Essais	Avant RTFOT	Après RTFOT
pénétration en 1/10 mm	46,6	30
TBA (°C)	51,5	55.5
Ductilité	70	65

Evolution de la pénétrabilité (P_2/P_1)	66.8 %
Evolution de la température bille et anneau (T_2-T_1) °C	4°C

On voit aisément que la pénétrabilité du bitume diminue rapidement avec le vieillissement. On constate rien qu'avec le vieillissement de fabrication et de mise en œuvre, le bitume de classe 40/50 se transforme en bitume 20/30, et alors on peut assister à l'apparition de fissures au niveau des couches bitumineuses. Aussi on constate que :

- La température de ramollissement bille et anneau d'un bitume vieilli est plus élevée que celle du bitume non vieilli.
- La ductilité du bitume 40/50 a diminué de 5 cm après l'essai de l'RTFOT. On déduit que le bitume vieilli devient plus fragile.

Le graphe suivant donne la variation de l'indice de pénétrabilité du bitume 40/50 avant et après vieillissement RTFOT en fonction de la température.



On remarque d'après les équations des deux droites que la valeur algébrique de l'IP du bitume non vieilli est plus importante que celle du bitume vieilli.

Donc le bitume vieilli est plus susceptible à la température par rapport au bitume non vieilli.

Essai de cohésion Vialit

L'essai de cohésion Vialit a été également réalisé sur le bitume étudié.

Par définition la cohésion Vialit est l'énergie par unité de surface absorbée par la rupture d'un film de liant soumis à un choc déterminé.

Le principe de l'essai :

Un cube en acier est collé par un film de liant de 1 mm d'épaisseur sur un support également en acier.

Le cube possède deux cales d'épaisseur de 1 mm permettant de constituer une plaque de liant de 1 mm d'épaisseur sur 1 cm² de section.

Le choc d'un mouton pendule sur le cube provoque la cassure du film de liant.

Un dispositif permet de mesurer l'angle de remontée maximale du mouton et de calculer l'énergie absorbée correspondante.

Cet essai est effectué en deux temps.

- le cube étant collé a son support par le liant.
- Le cube n'étant pas collé au support.

La cohésion est égale à la différence entre l'énergie nécessaire pour chasser le cube collé par le liant et celle nécessaire pour chasser le cube seul, divisé par la surface de rupture.

Expression des résultats :

Pour un angle de remontée du pendule α , l'énergie absorbée pendant le choc s'écrit :

$$E = MgR (1 + \cos \alpha)$$

Où :

M : masse du pendule ;

g : l'accélération de la pesanteur ;

R : le rayon du pendule ;

Pour chaque cube i , l'énergie consommée par la rupture du film du liant est égale à la différence entre l'énergie absorbée pour chasser le cube collé par le liant et celle absorbée pour chasser le cube seul :

$$e_i = MgR (\cos \alpha_i - \cos \alpha'_i)$$

et la cohésion est :

$$c_i = \frac{e_i}{s}$$

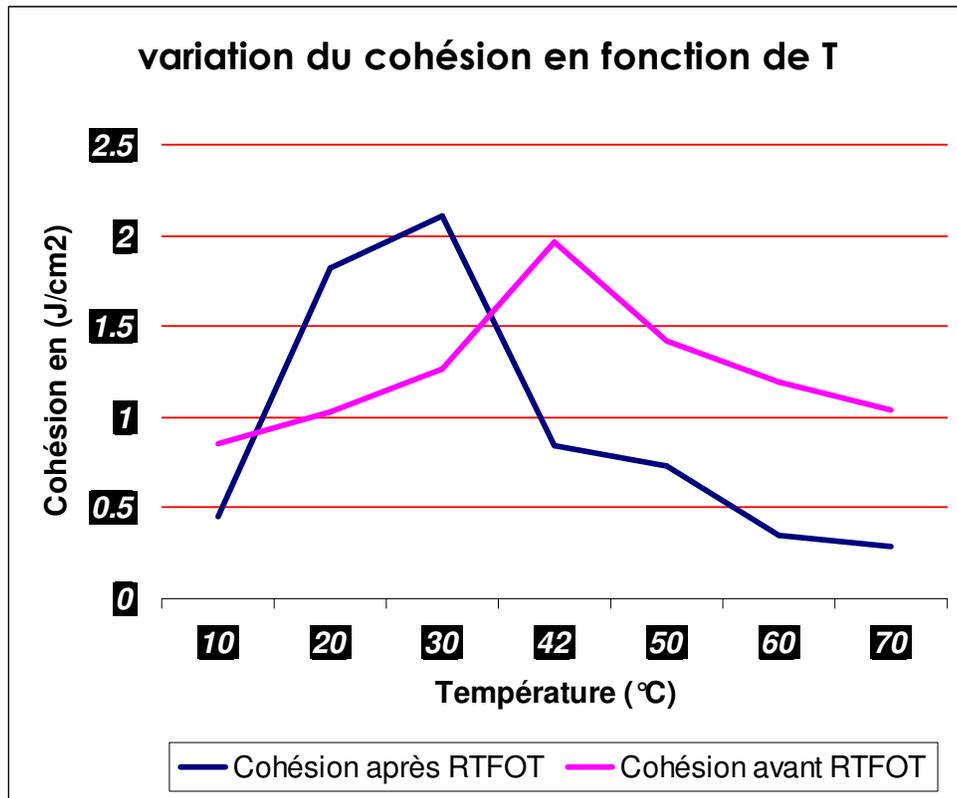
Avec s la surface de rupture.

La cohésion à la température de l'essai est la moyenne des valeurs calculées pour chacun des essais.

$$c = \frac{MgR}{s} \times \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\cos \alpha_i - \cos \alpha'_i)}{n}$$

Où : n : nombre des essais ; $M= 2\text{Kg}$; $g= 9.81\text{m/s}^2$; $R=0.295\text{m}$; $s= 1 \text{ cm}^2$

T (°C)	Cohésion (J/cm ²) Avant RTFOT	Cohésion (J/cm ²) Après RTFOT
10	0,85	0.45
20	1,03	1.82
27	1,27	2.11
44	1,96	0.84
55	1,42	0.73
60	1,19	0.35
70	1,04	0,29



Comparaison de cohésion du bitume avant et après RTFOT

On peut retirer à partir du graphe ci dessus deux remarques :

- Le bitume vieilli atteint sa cohésion maximale vers des températures de l'ordre de 35 °C, alors qu'il faut atteindre 45 °C pour le bitume non vieilli.
- Pour le bitume vieilli la cohésion chute très rapidement après la valeur maximale en comparaison avec le bitume non vieilli.

2 - Effet du vieillissement sur l'enrobé bitumineux

Les essais ont été réalisés sur un enrobé de bétons bitumineux semi grenu 0/10 , son comportement est évalué par des essais de fatigue, de module, de Marshall et du Duriez conformément aux normes en vigueur. La composition de l'enrobé étudié est de :

constituant	MVR du constituant	pourcentage
0/4	2.731	55%
4/6	2.725	30%
6/10	2.757	15%
bitume	1.02	5.8%

Les résultats des essais mécaniques réalisés sur l'enrobé en question sont comme suit :

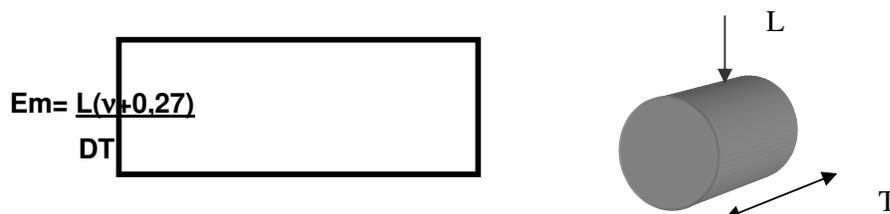
	Marshall		Duriez
	stabilité en daN	Fluage en mm	$\frac{r h}{R s}$
Avant RTFOT	1036	3.3	0.85
Après RTFOT	852	4.63	0.58
Spécifications	1000	4	0.75

On voit bien à travers ces résultats que le vieillissement a mis en péril, la stabilité, le fluage et la résistance à l'eau de l'enrobé.

Essai de module de rigidité

L'essai de module réalisé au CNER sur l'enrobé étudié est réalisé sur des éprouvettes cylindriques dont le diamètre nominale est de 100mm et dont l'épaisseur est située entre 30mm et 80mm.

L'essai se base sur une traction indirecte appliquée diamétralement sur l'éprouvette de l'enrobé (voir schéma ci-après). L'essai est réalisé dans une enceinte thermo régulée qui permet de fixer la température de l'essai (-10°C à 40°C). L'essai est piloté par ordinateur et les résultats sont directement stockés au niveau du PC.



Avec :

- L : Force verticale appliquée exprimée en N.
- D : Amplitude du déplacement horizontal en mm.
- T : L'épaisseur de l'éprouvette en mm.
- : Coefficient de Poisson (généralement égal à 0.35 à 20°).

L'essai a été réalisé à différentes températures, les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Température (°C)	Après RTFOT E_{moy} (MPa)	Après RTFOT E_{moy} (MPa)

15	6298, 5	7099
20	4572, 5	5138
25	2662, 5	3058, 5
30	1309	1547
35	749, 5	912, 5
40	429, 5	474, 5

Après son vieillissement, le bitume devient rigide grâce au durcissement thermique qu'il subit pendant la phase de fabrication et de la mise en œuvre, où il est en contact avec l'air qui favorise son oxydation. Par conséquent, le module de rigidité de l'enrobé augmente.

Essai de fatigue

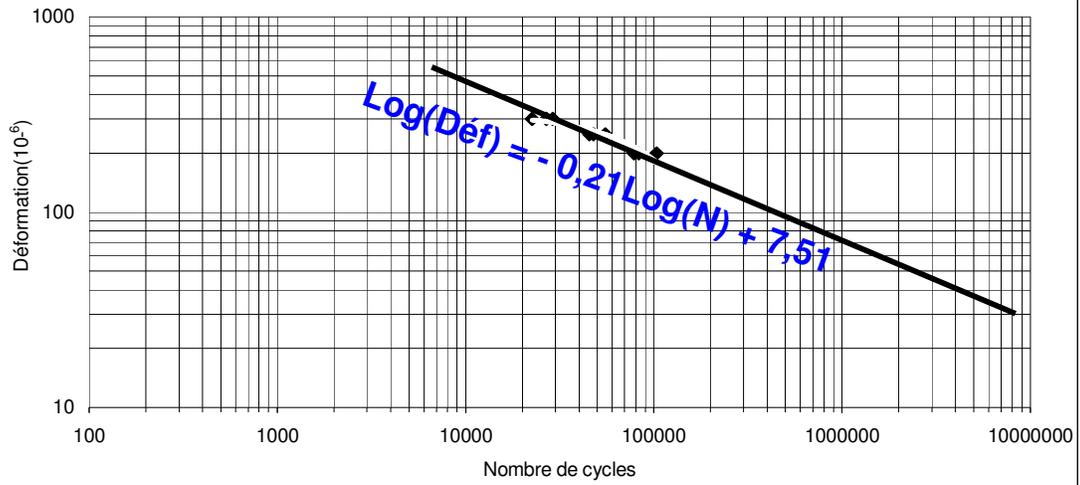
L'essai de fatigue s'effectue par la mise en flexion à quatre points des éprouvettes parallélépipédiques d'enrobés bitumineux à température constante choisie par l'opérateur au cours de l'essai. Pour une même fréquence de sollicitation sinusoïdale la méthode nécessite la réalisation de plusieurs essais élémentaires dans une atmosphère ventilée

L'essai consiste à :

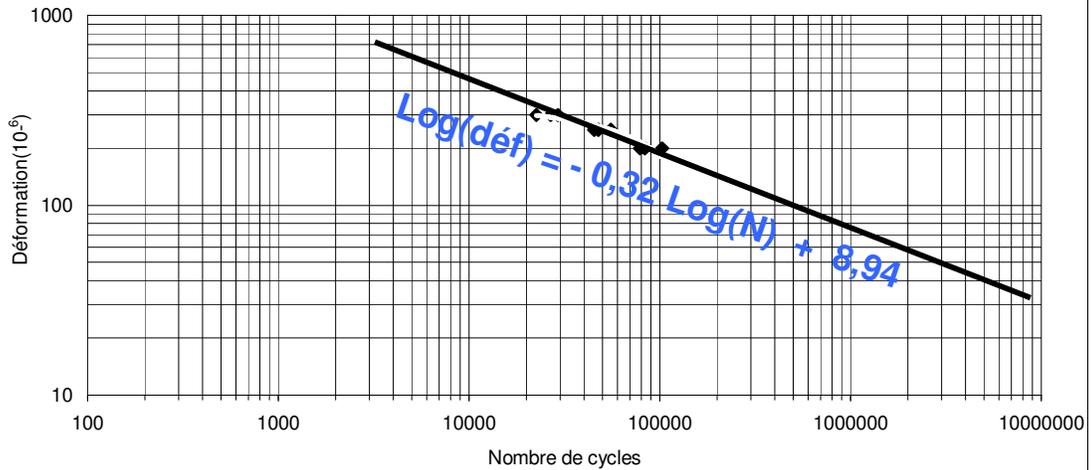
- solliciter une éprouvette console parallélépipède en imposant une déformation sinusoïdale à amplitude constante jusqu'à rupture par fatigue ;
- enregistrer au cours de cette sollicitation l'évolution de l'amplitude de la force en tête relative à la réaction de l'éprouvette.
- mesurer la durée de vie de l'éprouvette (le nombre de cycle de sollicitation à la rupture).
- Répéter les opérations (citées ci-avant) à différents d'amplitude de déformation. Afin de construire la droite de fatigue du mélange étudié et de calculer :
 - La déformation relative correspondant en moyen à 10⁶ cycles de sollicitations ϵ_6 .
 - La pente de la droite de fatigue b.

Les résultats des essais de fatigue réalisés sur des éprouvettes d'enrobés confectionnées avec un bitume vieilli et non vieilli sont comme suit :

Droite de Fatigue avant RTFOT



Droite de Fatigue après RTFOT



En résumé les paramètres de fatigues sont récapitulés dans le tableau suivant :

	Avant RTFOT	Après RTFOT
Déformation ϵ_6 en 10^{-6}	106,06	93,07
Pente	-0,21	-0,32

Résultats de l'essai de fatigue avant et après RTFOT

On peut voir à travers ces résultats que le vieillissement fait chuter la résistance à la fatigue de l'enrobé bitumineux.

COCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS :

Les premiers résultats qui découlent de la présente étude, ont révélé que le vieillissement de bitume entraîne au niveau de ce dernier ce qui suit :

- Une diminution de sa pénétrabilité.
- Augmentation de son point de ramollissement.
- La perte d'énergie de cohésion à haute température.
- Une fragilité due au durcissement qu'il subie et qui se manifeste par la perte de sa ductilité.

Le vieillissement d'un bitume engendre aussi des effets négatifs au niveau de l'enrobé, ainsi on a pu constaté une réduction de la capacité de l'enrobé à subir des déformations, comme l'ont montré les résultats des essais de fatigue.

La nature exacte du phénomène de vieillissement du bitume qui provoque la détérioration des structures en bétons bitumineux, n'est pas complètement maîtrisée. En revanche, l'oxydation, causée par l'air et la lumière, est connu comme étant un facteur primordial contribuant au durcissement du bitume, et qu'elle est amplifié à haute température.

L'action de l'eau de pluie et des produits dissous de la pollution atmosphérique, l'attaque des micro-organismes, et les modifications internes de la structure colloïdale du bitume, constituent aussi des facteurs influençant pertinemment sur le vieillissement du bitume.

Pour remédier à cette problématique, on peut recourir à des techniques qui peuvent nous aider à atténuer le phénomène de vieillissement de bitume et à rallonger sa jeunesse par :

- La modification du bitume par l'ajout des polymères ;
- L'ajout de la chaux, à des faibles dosages (2%), peut augmenter notablement la résistance au vieillissement des enrobés, chose qui a été confirmé par plusieurs études de laboratoires à travers le monde, notamment aux USA, en Belgique,....

Par ailleurs la présente étude doit être poursuivie en essayant de tester plusieurs formulations d'enrobés et étudier également l'ajout de la chaux à différents dosages pour chaque formulation en vue de tirer des conclusions qui peuvent nous aider à améliorer la durabilité de nos chaussées.

BIBLIOGRAPHIE :

- Etude comparative du vieillissement des bitumes routiers : impacts photochimique et thermique C. Rébufa (1) , J. Kister (1) , M. Julliard (2) , J. Lamontagne (1) , UMR 6171 – GOAE - case 561– Faculté des Sciences de Saint-Jérôme – 13397 Marseille cedex 20 – France UMR 6009 – Laboratoire AM 3 –Faculté des Sciences de Saint-Jérôme – 13397 Marseille cedex 20 – France
- Revue Générale des Routes et des Aérodrômes RGRA.
- Revues de LCPC « Etude d'une méthode de simulation du vieillissement des bitumes sur route ».
- [Bulletin d'information technique avril 2001 « recyclage à froid des enrobés ».
- Conception et rendement des chaussées ; Programme stratégique de recherche routière du Canada (SHRP) Novembre 2000.
- Modelling short-term aging of asphalt binders using the rolling thin film oven test (NRC Canada 2002).
- 2 nd Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona 2000 (STRUCTURE ANALYSIS OF ROAD-BUILDING BITUMENS THE EFFECT OF AGING FOR THE STRUCTURE ROAD BUILDING CASE STUDY WITH MODIFIED BITUMEN)
- Transportation research « perpetual bituminous pavements » December 2001.
- Eurovia Management - Polo de Emulsiones la rhéologie des bitumes: principes et modification juin 2002.
- Minnesota Department of Transportation “ Investigation Of Recycled Asphalt Pavement” February 2002.
- EFFET DU VIEILLISSEMENT SUR LA RÉSISTANCE AU RETRAIT THERMIQUE DES ENROBÉS, LUPIEN, Claude, ing. Département de génie civil Université de Sherbrooke MOORE, Véronique, ing. jr. Laboratoire B-Sol - LECLERC, Gaétan, M. Sc., chimiste - ST-LAURENT, Denis, ing. Transport Québec Direction du laboratoire des Chaussées
- AGING OF ASPHALT-AGGREGATE SYSTEMS , by Chris A. Bell Associate Professor of Civil Engineering Oregon State University Corvallis, november 1989
- Travail de fin d'étude (EHTP&CNER) réalisé par ADGHAL& MERABET 2004.
- Travail de fin d'étude (EHTP&CNER) réalisé par ALLAM 2004.