

Liants bitumineux

Version du : 17/06/2013

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Définition | 1 |
| 2 | Lois, normes, guides | 3 |
| 3 | Origine, élaboration, stockage | 4 |
| 4 | Caractéristiques physico-chimiques | 8 |
| 5 | Caractéristiques géotechniques | 10 |
| 6 | Caractéristiques environnementales | 10 |
| 7 | Aspects sanitaires | 10 |
| 8 | Usages (Types d'infrastructures ; Retour d'expérience)..... | 12 |
| 9 | Références bibliographique..... | 13 |
| 10 | Auteurs et relecteurs..... | 16 |

1 Définition

On appelle liant toute substance servant à rassembler et à maintenir des particules solides. Dans le génie civil, on distingue :

Les liants hydrauliques, tels que le ciment, faisant prise en présence de l'eau ;

Les liants organiques ou hydrocarbonés, tels que les goudrons ou les bitumes sont constitués de molécules organiques. Un liant hydrocarboné est un terme générique pour un matériau adhésif contenant du bitume, ou du goudron, ou les deux (norme NF EN 12597).

Le développement effectif des liants hydrocarbonés remonte au début du 19ème siècle (Lombardi, livre mouton page 391), mais on a retrouvé des traces de leur utilisation dans le Génie civil au moins 3000 ans avant Jésus Christ. En particulier, ils ont été employés dans certaines parties de construction des bâtiments sumériens ou de réservoirs d'eau dans la vallée de l'Indus.

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, le goudron (dérivé du charbon) est très majoritairement utilisé en technique routière. Dans les années 1970, la technique des couches de roulement des chaussées évolue : L'importation de bitume (dérivé du pétrole) s'impose et conduit au développement des mélanges à base de bitume et de dérivés du charbon (goudron et brai). Aujourd'hui reconnus pour leur toxicité, les goudrons ne sont plus utilisés dans les enrobés bitumineux qui sont uniquement constitués de bitume.

Le bitume routier se présente selon les échantillons, comme un liquide très visqueux ou comme un solide de consistance pâteuse à dure. Il existe alors trois principaux modes de mise en œuvre du bitume en technique routière :

- Par ramollissement à haute température (140 à 160°C), c'est la technique des enrobés à chaud ;

- Par ramollissement grâce à l'ajout d'un solvant, c'est-à-dire l'utilisation de fluidifiants ou de fluxants pour la réalisation d'enduits superficiels par exemple ;

- Par mise en émulsion dans l'eau pour la réalisation d'enduits, d'enrobés à froid.

Nous considérons ici uniquement les bitumes purs utilisés comme base pour les mélanges.

1.1 Les goudrons

Le goudron est un produit de distillation de la houille. Son invention remonte à la fin du 17^{ème} siècle. Après la mise en service des usines à gaz, il est utilisé en construction routière à partir de 1854. On remarque alors que les parties de chaussées traitées avec ce matériau résiste bien à l'action de l'eau de pluie. Plus tard avec l'avènement de l'automobile et la poussière générée par la circulation, le goudronnage se généralise à partir du début du 20^{ème} siècle. Il n'est plus utilisé depuis xxxx.

Les goudrons proviennent de la pyrogénéation¹ à l'abri de l'air de matières d'origine végétale, telles que le lignite, la tourbe, le bois. Le « goudron de bois » est extrait de résineux. Le plus souvent, les goudrons proviennent de la houille et sont désignés comme « goudrons de houille ».

La norme NF EN 15529 (mai 2007) définit le goudron comme un « produit liquide organique résultant de la décomposition forcée de matières organiques que l'on rencontre à l'état naturel ».

On distingue les différents goudrons selon leur origine (houille, schiste,...) ou leur mode de fabrication. Par exemple on peut citer :

Le goudron de houille a constitué une matière première de qualité, très recherchée pour la confection des routes en France. Il s'agit d'un mélange complexe composé presque exclusivement de composés aromatiques (95%). Les principaux composants du goudron sont le naphthalène, le phénanthrène, le fluoranthène, le pyrène, l'acénaphène, l'anthracène, le carbazole, la quinoléine, le phénol et quelques composés soufrés comme le thio-naphène. Le nombre total de constituants est estimé à 10 000, mais dans des proportions très variables ; seulement 400 d'entre eux ont été identifiés ;

Le brai de goudron ou brai de houille fait parti des constituants du bitume-brai. Il s'agit de la fraction non volatile du goudron de houille qui reste en fond de colonne après avoir vaporisé toutes les huiles contenues dans le goudron. Il est composé du mélange d'un grand nombre de molécules aromatiques polycycliques ([HAP]) > 1 g/kg) dont les principales sont : dihydro-naphthalène, chrysène, pyrène, coronène. A température ambiante, il se présente sous la forme d'un solide cassant de couleur noire. Son point de ramollissement se situe aux environs de 80-100°C.

La consommation de goudron a diminué avec l'arrêt progressif des centrales thermiques produisant du gaz au profit du gaz naturel importé et, en raison des insuffisances et inconvénients du goudron (très grande susceptibilité à la température, conditions sanitaires). Son remplacement s'est alors fait par des produits issus de la distillation du pétrole. Enfin la nette diminution, voire l'arrêt de l'utilisation des goudrons dans les enrobés bitumineux, ne résulte pas d'une interdiction au sens réglementaire mais est concomitant avec les recommandations d'associations professionnelles relative à l'hygiène et la sécurité des travailleurs (recommandations de 1986 du comité technique du BTP – INRS CNAM).

¹ Réaction chimique obtenue en soumettant un corps à une forte élévation de température.

1.2 Les bitumes

Les bitumes constituent la fraction la plus lourde des pétroles. Ils sont obtenus en raffinerie par séparation des différents hydrocarbures contenus dans le mélange complexe que représente le pétrole brut, issu de la lente transformation sous l'effet de la pression et de la température de micro-organismes déposés au sein de couches sédimentaires.

Pour éviter une dégradation de ce mélange d'hydrocarbures, les procédés pétroliers (distillation, hydrotraitement) sont pratiqués à des températures inférieures à 400°C. Les produits légers (essences, kérosènes, ...) sont distillés à pression atmosphérique, les produits lourds (bitume, ...) sont distillés sous vide. Pour certains besoins (bitumes durs), ils peuvent être soufflés (injection air).

Le principal produit hydrocarboné pétrolier, utilisés dans la fabrication des matériaux routiers, est le bitume (environ 3,5 millions de tonnes / an en France). De façon plus anecdotiques (environ 10 000 tonnes / an en France), des coupes pétrolières légères (type kérosènes) sont utilisés comme solvant du bitume, pour les applications de bitume fluxé et d'émulsion de bitume. Le bitume est utilisé à 85 % pour la fabrication des routes et à 15 % pour les usages industriels (étanchéité, peinture et vernis, isolation thermique, ...).

Selon la norme NF EN 12597, un bitume est un « matériau pratiquement non volatil, adhésif et hydrophobe, dérivé du pétrole brut ou présent dans l'asphalte naturel, qui est entièrement soluble dans le toluène ou presque, et très visqueux ou presque solide à la température ambiante ».

Les bitumes se présentent, à température ambiante, sous l'aspect d'un corps solide ou semi-solide de couleur brune ou noire. Il est liquide à des températures supérieures à 100°C. D'un point de vue chimique, les bitumes sont composés d'hydrocarbures de poids moléculaire élevé. Ils contiennent en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15 % d'hydrogène, 2 à 3 % d'oxygène et, en moindre quantité, du soufre et de l'azote ainsi que divers métaux (fer, vanadium, nickel, aluminium, silicium) à l'état de traces. La spécification des procédés de fabrication (distillation avec $T < 400$ °C) ne favorise pas la formation de HAP.

2 Lois, normes, guides

Références normatives

- NF EN 12591 (AFNOR, 1999), spécifications des bitumes routiers.
- NF EN 12597 (2002-03-01), Bitumes et liants bitumineux – Terminologie.
- NF EN 1426 (2007-06-01) Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille.
- NF EN 1427(2007-06-01) Bitumes et liants bitumineux - Détermination du point de ramollissement - Méthode Bille et Anneau.
- NF T 66-015 NF EN 12606-2 (2000-01-01) Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la teneur en paraffines - Partie 2 : méthode par extraction.
- NF EN 14-597 (2006-03-01) Dispositifs de régulation et de limitation de température pour les systèmes de générateurs de chaleur.
- NF EN 15529 (2007-05-01) Dérivés de la pyrolyse du charbon – Terminologie.

Les essais de caractérisation mécanique des bitumes routiers sont référencés dans la norme NF EN 12591 (1999).

A compter du 1er janvier 2010, la norme NF EN 12591 est devenue [un document harmonisé conforme à la directive européenne des produits de construction](#) (DCP) par sa publication au JOUE de décembre 2009. Son application depuis le 1^{er} janvier 2011 impose le marquage CE des bitumes [Lombardi, 2010].

3 Origine, élaboration, stockage

3.1 Origine

De nos jours, les bitumes sont issus majoritairement du raffinage de pétroles bruts. La composition chimique de ces bitumes est donc dépendante de la constitution du pétrole de départ et par conséquent de la genèse de cette huile.

Les bitumes se rencontrent aussi à l'état naturel sous forme, par exemple, de lacs d'asphaltes (comme le lac Trinidad, situé dans les îles Trinité et Tobago) résultant d'une évolution géologique particulière de la matière organique enfouie dans les sédiments.

Ainsi, que le bitume soit d'origine naturelle ou industrielle, sa formation est liée à l'histoire géologique de la matière organique sédimentaire.

Cette matière organique, constituant essentiel des enveloppes supérieures de la planète, subit, lors de son enfouissement dans les sédiments, sous l'action de paramètres tels que le temps, la température, la pression et le contexte géologique, un ensemble de transformations. Certaines de ces transformations sont regroupées sous le terme de maturation, conduisant à la formation de charbons, de pétrole ou de gaz (Ruau, 1996).

La formation d'un gisement de pétrole ou de gaz résulte donc d'un enchaînement de plusieurs phénomènes (Ungerer & Durand, 1987; Pelet, 1985) :

- ✓ dépôt d'une roche riche en matière organique, nécessitant non seulement une bonne productivité primaire (production de débris) par les organismes vivants dans le milieu de sédimentation mais également de bonnes conditions de préservation de la matière organique lors du dépôt ;
- ✓ transformation partielle de la matière organique en pétrole et gaz. Ce processus exige des températures de 60 à 200°C et se produit à des profondeurs de quelques milliers de mètres. Il est le résultat d'un craquage thermique des liaisons chimiques de la matière organique;
- ✓ expulsion des hydrocarbures de la roche mère et migration vers des réservoirs où ils peuvent se piéger. Les roches mères sont de trop faible granulométrie et perméabilité pour pouvoir exploiter le pétrole formé sur place. Il est donc impératif pour la formation d'un gisement exploitable que la phase de migration vers des réservoirs se produise.

Une représentation schématique de la formation du pétrole est reportée sur la figure 1.

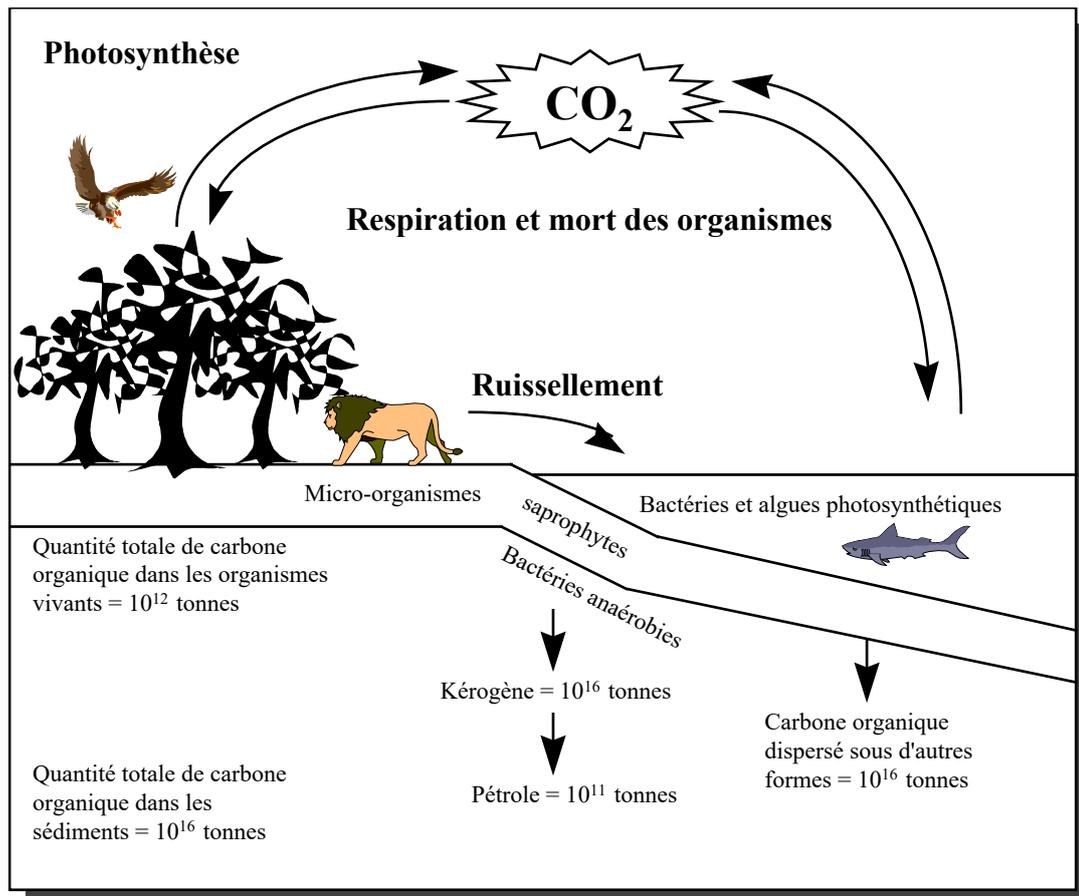


Figure 1 : De la matière organique au pétrole : représentation schématique (d'après Ourisson et al., 1984).

Trois conditions doivent être remplies pour l'existence d'un gisement d'hydrocarbures :

- Présence d'une roche mère, c'est-à-dire d'un sédiment à grain fin, tel qu'une argile ou un calcaire marneux, conditions indispensables à la préservation de la matière organique originelle, renfermant une certaine quantité de cette matière organique et ayant donné naissance à des hydrocarbures;
- Présence d'une roche réservoir, c'est-à-dire une roche poreuse dans laquelle les hydrocarbures peuvent migrer et se rassembler;
- Présence d'une couverture, c'est-à-dire une couche imperméable qui les empêche de migrer vers la surface où ils peuvent s'altérer et disparaître.

La migration des hydrocarbures de la roche mère vers la roche réservoir se déroule en trois étapes :

- phase d'expulsion du pétrole de la roche mère (*migration primaire*) pendant laquelle il forme une phase continue, distincte de l'eau (sa solubilité dans l'eau étant très faible). N'étant plus sous forme dispersée, les hydrocarbures peuvent alors être expulsés par le poids des sédiments sus-jacents;
- migration du pétrole au sein d'horizons perméables (*migration secondaire*) sous l'impulsion des forces de gravité. Suivant la perméabilité des terrains rencontrés, ce déplacement conduit à la formation de gisements et c'est lors de cette migration que se produit la séparation des phases gazeuses et liquides ;
- fuite du pétrole à travers la couverture du gisement (*dysmigration*) intervenant lorsque les fluides du gisement sont à une pression notablement plus forte que ceux de la couverture, c'est-à-dire lorsque la taille du gisement augmente. La

résultante de cette dysmigration est la formation de nouveaux gisements dans les couches supérieures.

La notion de pétrole regroupe des réalités extrêmement diverses : certaines huiles, complètement opaques, sont presque aussi denses que l'eau, avec une très forte viscosité; d'autres, à l'opposé, légères, transparentes et peu visqueuses, ont l'aspect d'une essence ou d'un gazole. La plupart de ces différences s'expliquent par l'origine des huiles et leurs altérations éventuelles.

Ainsi, les pétroles bruts issus de diverses sources¹ (Amérique du Nord, Amérique Latine, Proche-Orient, Afrique de l'Ouest, Mer du Nord,...) ont des compositions, des propriétés physiques et des propriétés chimiques très différentes. Ces différents type de pétrole bruts peuvent se trouver sous la forme de liquide noirâtre de viscosité très élevée, de fluides de couleur claire ou de liquides de viscosité et de couleur intermédiaires. En outre, leur composition peut être de type plus ou moins paraffinique, naphthénique ou aromatique.

Cette diversité chimique des pétroles se justifie notamment par l'origine de la roche mère :

- une huile formée par une roche mère assez peu évoluée peut être extrêmement lourde et visqueuse;
- une roche mère très évoluée aura formé successivement des huiles lourdes puis légères et enfin du gaz au cours de son histoire géologique.

3.2 Elaboration

Le bitume est obtenu industriellement par distillation des pétroles bruts. Ceux-ci renferment un très grand nombre d'hydrocarbures, depuis les plus élémentaires et légers jusqu'aux plus lourds et complexes. Cependant, les proportions respectives de ces composants varient suivant l'origine des bruts et des procédés. Sur les 1300 qualités de pétrole brut, seules 10% environ sont aptes à fournir du bitume (UFIP, 2001). Pour produire du bitume, il est nécessaire de choisir un pétrole brut suffisamment lourd dont la densité est de l'ordre de 1.

Dans les raffineries qui fabriquent des produits lourds et plus spécialement des bitumes, l'unité de distillation comprend une tour dite "atmosphérique" et une tour dite "sous-vide" (Lombardi, 1992). Le brut choisi, après décantation et dessalage, est distillé sous pression atmosphérique pour séparer les fractions les plus volatiles (gaz, essences et kérosène) des produits plus lourds (cf. figure 2). Le fond de colonne est ensuite soumis à une distillation sous vide. Le résidu de cette distillation sous vide constitue le matériau de base, qui peut être utilisé directement comme bitume si ses propriétés sont conformes aux spécifications requises pour l'application envisagée. En cas de nécessité, des techniques complémentaires à la distillation permettent d'améliorer les propriétés et la qualité du bitume de base :

- Le soufflage à l'air : cette technique consiste à soumettre un résidu sous vide trop mou à un courant d'air à température élevée (230-270°C). Cette opération a pour conséquence une transformation des produits (Haley, 1975), entraînant un durcissement du bitume de base (Brûlé, 1987). Ce procédé était auparavant nécessaire pour obtenir des grades durs de bitume (jusque dans les années 1980) mais l'est beaucoup moins de

¹ Actuellement, 75% des bruts utilisés proviennent du Moyen-Orient avec, cependant, une évolution vers la production en "off-shore" profond au Gabon, Mer du nord et Golfe de Guinée....

nos jours puisque les procédés de raffinage actuels permettent d'obtenir des bitumes suffisamment durs par distillation directe ;

- Le désasphaltage au solvant : cette technique est utilisée lorsque le résidu présente une trop forte teneur en fractions lubrifiantes. Elle consiste à séparer physiquement, par précipitation dans un solvant, les molécules lourdes des résidus sous vide de leur substrat huileux.

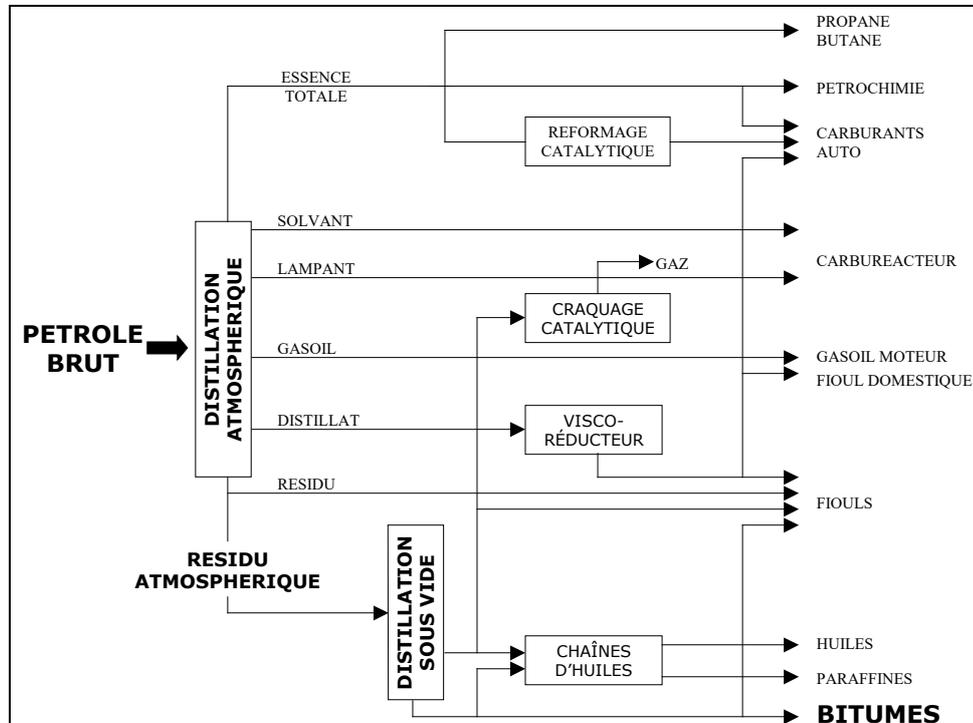


Figure 2 : Schéma général du raffinage des pétroles bruts (AFREM, 1991).

La classification des bitumes est réalisée selon des critères de consistance. Les spécifications sont fondées principalement sur des essais normalisés de pénétrabilité (NF EN 1426) et de point de ramollissement (NF EN 1427).

En général, au niveau des raffineries seulement deux classes de bitume sont réalisées : le grade dur (20/30) et le grade mou (180/220 ou 70/100). Les classes intermédiaires étant obtenues par mélange.

3.3 Vie des Bitumes

Depuis le stade de son élaboration en raffinerie jusqu'au stade ultime de sa vie sur la route, le bitume évolue en fonction du temps (Lesage, 1992 ; Groz et al, 1996). Cette évolution se traduit par une diminution des performances requises pour son usage. On parle de vieillissement.

Avant d'atteindre son état limite de fin de vie, le bitume routier suit différentes étapes d'évolution dont les principales sont (cf. figure 3) :

- la fabrication de l'enrobé en centrale (l'enrobage) : le bitume est pulvérisé en film mince (épaisseur de l'ordre de 5 à 15 μm) à haute température (160°C dans la majorité des cas) pour être mis en contact avec des granulats chauffés. Cette opération est un

stade majeur de l'évolution du bitume. Le bitume dans l'enrobé routier n'a plus les mêmes caractéristiques que celui issu de la raffinerie,

- La mise en œuvre (répandage et compactage) : les opérations de déchargement de l'enrobé, d'étalement, de compactage sont des opérations où le bitume est en contact avec l'air ambiant, toujours à une température élevée (généralement vers 135°C),

- L'utilisation routière : ici, le niveau des températures est nettement plus bas et ne dépasse guère 60 à 70°C à la surface du revêtement. Cependant, le bitume continue à évoluer sous l'effet des conditions climatiques et aussi des sollicitations du trafic.

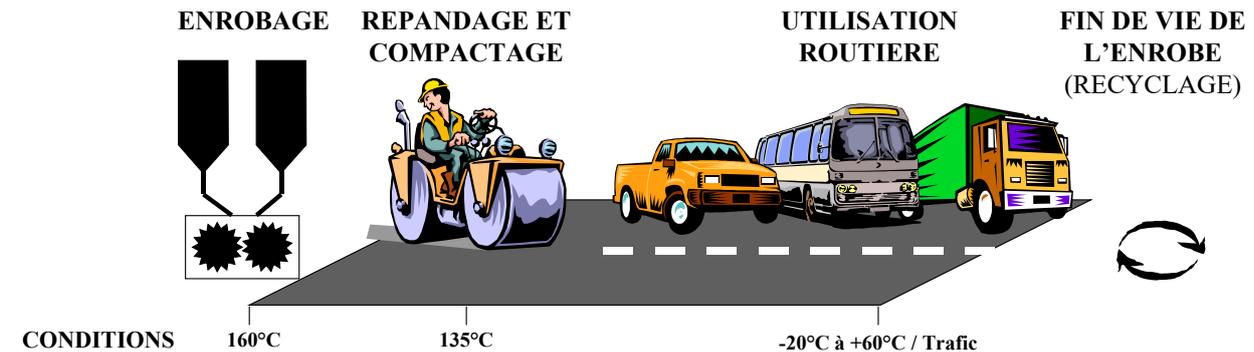


Figure 3: Schéma des différents types de vieillissements subis par les bitumes, de l'origine au vieillissement *in situ* en service.

Enfin, au stade où la chaussée devient impropre à l'usage, l'enrobé peut être soit recouvert par une autre couche, soit enlevé et mis en décharge, soit recyclé (*in situ* ou en centrale). Le recyclage peut être fait en centrale avec de vieux enrobés stockés, soit par retraitement en place. Les caractéristiques du matériau vieilli sont corrigées pour les rendre conformes à celles d'un enrobé neuf (Poirier et Durand, 1999). Pour cela un apport de liant neuf régénérant et des granulats est nécessaire.

4 Caractéristiques physico-chimiques

4.1 Composition chimique des bitumes

De par leur origine et leur mode de fabrication, les bitumes sont des composés hydrocarbonés de constitution particulièrement complexe. Ils sont composés de nombreuses molécules de types paraffiniques, naphténiques et aromatiques, plus ou moins fonctionnalisées, de poids moléculaires élevés. Il contient en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15% d'hydrogène, 2 à 3% d'oxygène, jusqu'à 6% de soufre et 1% d'azote, ainsi que divers métaux à l'état de trace (vanadium, fer, nickel, aluminium, zinc...).

Compte tenu du grand nombre de molécules, il est illusoire de chercher à identifier la totalité des composés présents. L'identification chimique d'un bitume passe alors par la détermination qualitative et quantitative de ses constituants principaux ou groupes génériques (saturés, aromatiques, résines et asphaltènes). Par ailleurs, il est tout aussi impératif de savoir apprécier la façon dont les molécules vont s'associer pour former un édifice spatial tridimensionnel appelé structure et qui donne au bitume ses propriétés physiques et mécaniques.

L'adaptation de certaines méthodes d'analyse permet de mettre en évidence la structure colloïdale proposée. Ces adaptations concernent aussi bien la préparation des échantillons à analyser que les conditions d'analyse.

4.2 Structure chimique des bitumes

Bien qu'il s'agisse d'un continuum de molécules de complexité croissante, la structure physico-chimique des bitumes est souvent associée à un modèle de structure colloïdale [Yen T.F., 1971]. En effet, ses paramètres semblent suffisamment précis pour décrire ou expliquer certains problèmes rencontrés au moment de la mise en œuvre sur la route. Dans ce modèle, les asphaltènes (fraction non soluble dans les solvants n-alcanes) associés sous forme d'agglomérats et de micelles sont dispersés dans les maltènes (fraction soluble dans les solvants n-alcanes) grâce à des molécules appelées "résines" (molécules aromatiques et polaires qui assurent la compatibilité entre les asphaltènes et les molécules naphténo-aromatiques des maltènes).

Plus le poids moléculaire est élevé, plus les maltènes (phase continue) confèrent au bitume une viscosité intrinsèque qui est augmentée par la présence de la phase dispersée (les asphaltènes). La teneur en asphaltènes a une incidence très importante sur les propriétés rhéologiques d'un bitume : leur augmentation conduit au durcissement du bitume qui devient plus visqueux, de plus faible pénétration et de point de ramollissement plus élevé.

Selon le caractère « sol » ou « gel » des bitumes décrit dans la figure 4, les propriétés diffèrent : les bitumes sols présentent une excellente résistance aux sollicitations rapides, mais ils sont plus sensibles que les bitumes gels aux sollicitations lentes, ainsi qu'aux variations de température [Merbouh M., 2010]

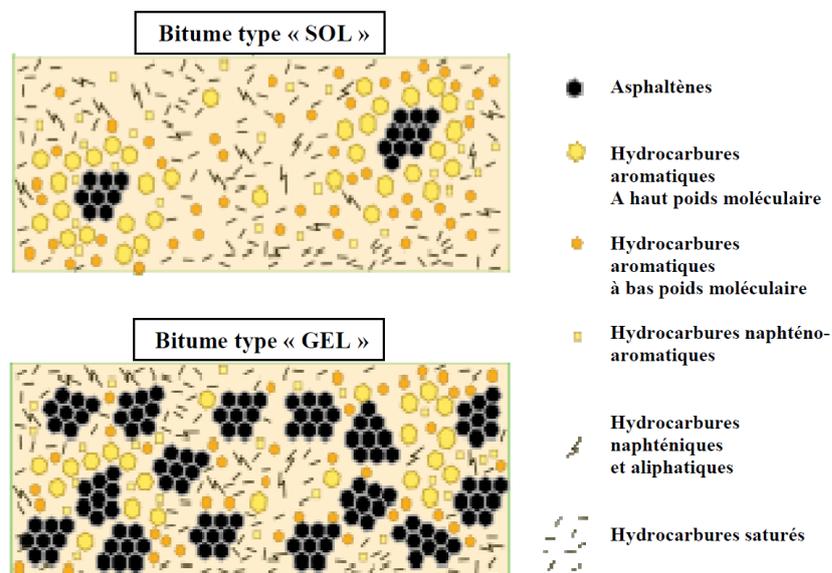


Figure 4: Représentation schématique des deux types de structures de bitumes [Merbouh M., 2010]

5 Caractéristiques géotechniques

Le bitume seul ne fait pas l'objet de ce type de caractérisation, dans les infrastructures il est utilisé avec des granulats, pour aborder ces aspects, il faut se reporter au texte sur les granulats.

6 Caractéristiques environnementales

Depuis les années 1970, les communautés scientifiques, industrielles et l'administration ont principalement porté leur attention sur les fumées de bitume afin de les caractériser en amont de leur utilisation dans la fabrication à chaud des enrobés. Une bibliographie a notamment été effectuée dans le cadre de travaux de recherche [Paranhos, 2007] sur l'enrobage en centrale à chaud. Certains éléments bibliographiques recueillis sont décrits dans la partie concernant les techniques de caractérisation

Le bitume étant utilisé pour les infrastructures en fabrication d'enrobés, ce point du suivi environnemental du matériau en place est évoqué sous l'angle des enrobés. Une fois refroidi, au bout d'une heure environ l'enrobé chaud ou tiède n'émet plus vers l'air. Des émissions peuvent se produire vers l'eau lors de la rupture des eaux d'une émulsion dans le cas d'une technique à froid. Les rejets d'une chaussée en place avec des granulats neufs par percolation sous l'effet des eaux de pluie (quelques pourcents de volume d'eau infiltrés) ont pu être étudiés dans le cas d'une étude sur le recyclage des agrégats, ces travaux sont décrits dans le texte sur les matériaux bitumineux car ils ont plutôt une vocation comparative des résultats de caractérisation physico-chimique.

7 Aspects sanitaires

7.1 Expositions

Les mélanges bitumineux

La mise en œuvre des enrobés se fait classiquement de façon mécanisée par un finisseur. Pour certains ouvrages très ponctuels (faible surface), la mise en œuvre peut être assurée manuellement. Les agents de mise en œuvre, comme les régleurs, positionnés derrière la table du finisseur sont les plus exposés aux enrobés bitumineux et aux « fumées de bitume ». Cette exposition est toutefois très dépendante de la température de mise en œuvre de l'enrobé.

Les revêtements superficiels

La fabrication et la mise en œuvre sont conjointes, puisque les revêtements superficiels correspondent à un assemblage sur chaussée des granulats et du liant. La mise en œuvre des enduits superficiels, qui peut utiliser des liants « froid » (émulsion de bitume : $40 \leq T^{\circ} \leq 80^{\circ}\text{C}$) ou des liants « chaud » (bitume fluxé : $T^{\circ} > 150^{\circ}\text{C}$), a beaucoup évolué tant d'un point de vue du matériel que des produits mis en œuvre et donc des conditions d'exposition. Le poste de vannier, agent chargé du bon épandage du liant, avant l'arrivée des épanduses automatisées était directement exposé aux vapeurs des liants (anhydres ou mis en émulsion) a été supprimé dans les années 70-80 avec

l'utilisation de matériels modernes. Les postes de travail les plus exposés correspondent aux agents qui :

- gèrent l'ouverture des trappes des gravillonneurs, qui peuvent suivre d'assez près l'épandage du liant,
- répandaient le liant à la lance dans le cas des emplois partiels (point à temps).

7.2 Classification des bitumes

La classification des bitumes peut se résumer selon l'ordre chronologique suivant :

1987 Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) place le bitume routier dans la **catégorie 3**, "inclassable quant à sa cancérogénicité".

2011 Selon la classification de l'IARC d'octobre 2011, les bitumes de distillation directe et leurs émissions pendant la mise en œuvre font partie du **groupe 2B** (« possibly carcinogenic to humans »). Les bitumes sont manipulés habituellement à des températures élevées ; cela implique des protections particulières contre les brûlures et des mesures à prendre en cas de projection de bitume chaud. A l'état chaud, les bitumes et par extension les enrobés bitumineux dégagent des fumées et sont classés dans le groupe 2B de la classification de l'IARC, ce qui signifie, d'après l'IARC, que « l'agent est peut-être cancérogène pour l'homme », et qu'il faut donc éviter d'inhaler ; La présence de certaines molécules polycycliques dans les bitumes pose la question de leur transfert dans les fumées notamment quand ces derniers sont portés à très hautes températures (jusqu'à 240°C) pour les applications d'asphaltes coulés destinés à l'étanchéité des ouvrages de génie civil (cf. note ED5019 INRS décembre 2002). Le dosage des HAP et plus particulièrement du benzo(a)pyrène (traceur des HAP) n'est aujourd'hui soumis à aucune norme internationale de méthode d'échantillonnage et d'analyse du risque d'exposition aux fumées de bitume. Les seuils réglementaires existants dans les différents pays et les réglementations développées par les autorités indépendantes varient considérablement en ce qui concerne les valeurs numériques et les méthodes d'évaluation. Par exemple, la **Valeur Limite d'Exposition** Recommandée en France est de **150 ng/m³** de Benzo(a)pyrene. En Norvège, Elle est fixée à **5 mg/m³**, de Matière Particulaire Totale.

2011 Suite au décès par cancer d'un salarié de l'industrie de la construction et de l'entretien des routes et du fait des interrogations qui entourent les causes de cet événement, la fédération nationale des salariés de la construction – confédération générale du travail (FNSC-CGT) a saisi l'ANSES qui a initié en 2011 une évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs. **8.3. Risques liés aux fumées de bitume et d'enrobés bitumineux :**

Deux démarches ont été déployées pour répondre aux questions sur les effets potentiellement cancérigènes du bitume : des études épidémiologiques, portant sur des personnes exposées aux vapeurs de bitume et des essais sur animaux, par inhalation et/ou par contact cutané. Les études épidémiologiques ont permis de comparer la santé des ouvriers exposés au bitume avec celle de personnes ne l'ayant jamais été. La plus importante a été menée par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC, IARC).

L'étude épidémiologique IARC 1 en 2001 a porté sur 80 000 travailleurs européens dont 35 000 avaient été exposés pendant 20 à 25 ans à des fumées de bitume. Cette étude a

établie que les travailleurs exposés aux fumées de bitume étaient dans le même état de santé que la population générale. La légère surmortalité observée et liée au cancer du poumon, a conduit à approfondir l'étude de chaque cas de cancer du poumon. C'est l'objet de l'étude IARC 2. Les chercheurs ont analysé **433 cas** de cancer du poumon et 1 253 contrôles. Les dossiers examinés concernaient principalement des travailleurs du secteur routier, provenant de six pays européens, dont la France. L'étude, menée en France sous l'égide du Docteur Isabelle Stücker (INSERM), conclut en 2009 qu'en l'état des connaissances scientifiques actuelles, aucun lien n'a été établi entre le cancer du poumon et l'exposition aux fumées de bitume. La légère surmortalité observée dans IARC 1 est expliquée par le tabagisme ou l'exposition antérieure aux goudrons de houille.

Une étude en laboratoire a été menée en 2007 en Allemagne par l'Institut Fraunhofer, elle portait sur des rats. Pendant 2 ans, 6 heures par jour, 5 jours par semaine (ce qui équivaldrait à une vie entière de travail pour l'homme), des groupes d'animaux ont respiré des fumées à des niveaux très supérieurs à ceux mesurés sur les chantiers. La comparaison avec un groupe témoin de rats respirant de l'air frais n'a révélé aucun accroissement significatif du nombre de tumeurs, concluant ainsi que les fumées de bitume **ne sont pas cancérigènes** chez le rat.

Les études épidémiologiques et l'étude de l'institut Fraunhofer n'ont pas montré de relation entre le cancer et le bitume.

Par ailleurs, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et l'institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) ont notamment étudié les conséquences d'une exposition respiratoire et cutanée aux fumées de bitumes chez des rats. Ces études ont permis de repérer des altérations de l'ADN au niveau des poumons et des lymphocytes sanguins. Ces modifications génétiques seraient liées à la présence de composés dits génotoxiques tels que certains HAP.

Un avis de l'ANSES résultant des travaux d'expertise est attendu pour 2013. Il est prévu de réaliser un état des lieux permettant de déterminer la nature des substances contenues et émises par les produits bitumineux et leurs additifs au cours des différentes opérations de mise en œuvre et de recenser les effets sanitaires associés, l'expertise s'attache à mettre en perspective ces informations avec les données d'exposition des travailleurs. In fine, il s'agit de conduire une évaluation qualitative des risques sanitaires liés à une exposition professionnelle à ces produits.

8 Usages (Types d'infrastructures ; Retour d'expérience)

Utilisation des bitumes routiers en fonction de leur classe

Le choix de la classe des bitumes routiers se fait en fonction des performances visées, elles mêmes guidées par la nature de l'enrobé utilisé. Le choix de l'enrobé dépend de son niveau de sollicitation (type de climat et de intensité du trafic). De même, la nature et la classe du bitume constitutif sont différentes en fonction de la situation de l'enrobé dans la chaussée (couche de roulement, couche de liaison, couche d'assise,...). Le tableau 1, reprend les règles de choix des bitumes purs mentionnées dans le guide d'application des normes « enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques » du service technique de l'Aviation civile (Avril 2009). Ces préconisations tiennent compte de la couche de la chaussée et de son exposition aux vieillissements mécaniques et thermique.

Tableau 1 : Exemples d'utilisation des bitumes en fonction de leur classe et de l'enrobé.

| Couches | | | Classe de bitume pur |
|-----------|---|--------------------|-----------------------|
| Assise | | EB-GB | 35/50 ou 50/70 |
| | | EB-EME | 20/30, 15/20 ou 10/20 |
| Liaison | | EB-BBME | 20/30 |
| | | EB-BBME EB-BBSG | 35/50 ou 50/70 |
| | Couche ultra-mince* (< 2cm) | ESU ECF | /// |
| Roulement | Couche épaisseur intermédiaire (2 à 4 cm) | BBTM EB-BBA | 50/70 ou 70/100 |
| | Couche épaisse (5 à 8 cm) | EB-BBME | 20/30 |

* Uniquement émulsion de bitume pur, polymère ou bi-phases

EB-GB : Enrobé bitumineux-Grave bitume

EB-EME : Enrobé bitumineux – Enrobé à module élevé

EB-BBME : Enrobé bitumineux – Béton bitumineux à module élevé

EB-BBSG : Enrobé bitumineux - Béton Bitumineux Semi-Grenu

ESU : Enduits superficiels d'usure

ECF : Enrobés coulés à froid

BBTM : Béton bitumineux très mince

EB-BBM : Enrobé bitumineux - Béton Bitumineux Mince

9 Références bibliographique

9.1 Références cité dans le texte

Bonnot L., 1980, *Détermination par diffraction X d'un facteur d'aromaticité et de paramètres structuraux des asphaltènes précipités*, Rapport interne N° 27 893, mars 1980, Institut Français du Pétrole.

Brûle B., Ramond G., Such Ch., 1987, *Relations composition-structure-propriétés des bitumes routiers. Etat des recherches au LCPC*, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 148, 69-81.

Buisine J. M., Joly G., C. Such G., Farcas F., Ramond G., Claudy P., Letoffe J. M.; King G. N., Planche J. P., L. Germaneau L., 1993, *Thermodynamic behaviour and physico-chemical analyses of the eight SHRP bitumens*, Transportation Research Record, 1386, 1-9.

Claudy P., King G. N., Brule B., Planche J.P., Letoffe J.M., 1990, *Caractérisation des bitumes routiers par analyse calorimétrique différentielle*, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 165, p 85 - 92.

Doumenq, P., 1989, *Apport de l'infrarouge à transformée de Fourier et du couplage chromatographie gazeuse / infrarouge à transformée de Fourier à l'étude de systèmes chimiques complexes*, Thèse de l'Université d'Aix-Marseille III, 193 p.

Druon M., Mondon V., Touzé P., 2000, *Introduction de produits organiques en spectrométrie ICP-AES par simple mise en émulsion. - Application au dosage de Ni et dans les bitumes*, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 225, 13-20.

Durrieu F., Farcas F., Mouillet V., 2007, *Influence of UV radiation on the ageing of a Styrene/Butadiene/Styrene (SBS) modified bitumen: comparison between laboratory simulations and the on site ageing*, Fuel , 86, 1446-1451.

Ganz, H.; Kalkreuth, W., 1990, *The potential of infrared spectroscopy for the classification of kerogen, coal and bitumen?* Erdöl und Kohle, 43 , 116-117.

Lamontagne J., Dumas P., Mouillet V., Kister J., 2001 *Comparison by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of different ageing techniques: application to road bitumens*, Fuel, 80, 483-488.

Lombardi B., 2010, *Le bitume, la construction routière et le développement durable*, dans : Matériaux organiques spécifiques pour la construction, chapitre 4, ed. Lavoisier. 2010.

Merbouh M., 2010, contribution à la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux. Influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue. Thèse de doctorat de l'université Bordeaux-1

Migliori F., Gregoire R., 1992, *Contribution de la distillation simulée à la caractérisation des liants hydrocarbonés*, Bulletin de liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, 181, 47-52.

Millet J., Platret G., 1984, *Etude de la structure des bitumes : Etude des asphaltènes par diffraction de rayons X*, CRT de recherche LCPC, FAER 1-63-10, 23 pages.

Mouillet V., Farcas F., Besson S., 2008, *Ageing by UV radiation of an elastomer modified bitumen*, Fuel, Vol. 87, 2408-2419.

Mouillet V, Farcas F., Battaglia V., Besson S., Petiteau C., Franck LE CUNFF, 2010, *Identification et dosage des fonctions oxygénées présentes dans les liants bitumineux ; Analyses par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier*, méthode LPC n°69, 10p.

Mouillet, V.; Kister, J.; Martin, D.; Planche, J. P.; Scramoncin, C.; Saury, C., 1999, *Nouvelle approche de caractérisation chimique des liants modifiés par microscopie infrarouge*. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 220, 13-19.

référence de la thèse de paranhos 2007[PER 94] Pieri, N., 1994 *Etude du vieillissement simulé et in situ des bitumes routiers par IRTF et Fluorescence UV en mode Excitation-Emission Synchrones*, Thèse de l'Université d'Aix-Marseille III, 214p.

Petersen J. C., 1986, *Quantitative functional group analysis of asphalts using differential infrared spectrometry and selective chemical reactions: theory and application*, Transport. Res. Rec., 1096, 1-11.

Platret G., Lavarenne R., 1997, *Dosage par analyse calorimétrique différentielle des fractions cristallisables dans les bitumes*, Rapport de recherche, FAER 2-01-13-6, 20 pages.

Platret G., 1998, *Mode Opérateur : Dosage des fractions cristallisables dans les bitumes par analyse calorimétrique différentielle*, Publication interne du Service PCM (12 janvier 1998), 4 pages.

Ramond, G.; Such, C., 1990 *Bitumes et bitumes modifiés : Relations structures, propriétés, composition*, Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées, 168, 65-87.

Such C., Farcas F., Ramond G, Witier P, Migliori F, Planche J. P., Germaneau L, 1994, *Analyse physico-chimique de huit bitumes*, JSI, Presqu'île de Gien, du 4 au 7 octobre 1994, Ed. LCPC, vol. 1, 245-255.

Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984, *Petroleum Formation and Occurrence*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, p. 128.

Witier P., Dormal G., 1994, *Apport de la chromatographie en phase gazeuse à la caractérisation des bitumes et de leurs fluxants*, Journées des Sciences de l'Ingénieur, 3-4-5-6-7 octobre 1994, Presqu'île de Giens, JSI94, 1, 221-228.

Yen T. F., Dickie J. P., 1967 *Macrostructures of the asphaltics fractions by various instrumental methods*, Analytical Chemistry, vol. 39, 1847-1851

Yen T. F., J. Erdman G., Pollack S. S., 1961 *Investigation of the structure of petroleum asphaltenes by X-Ray Diffraction*, Analytical Chemistry, vol. 33, 1587-1594

Yen T.F., 1971 *Structure of bitumens. Charge-transfert nature*, American Chemical Society, Division Fuel Chemistry, vol. 15 (1), 93-101.

9.2 Autres références

Aucune.

10 Auteurs et relecteurs

| | |
|---------------------------------------|--|
| Auteurs OFRIR2 | Fabienne Farcas (IFSTTAR), Virginie Mouillet (CETE Méditerranée) |
| Relecture d'experts OFRIR2 | Rabia Badreddine (INERIS), Agnès Jullien (IFSTTAR) |
| Relecture bureau | Laurent Château (ADEME), Guillaume Gay (INERIS), Agnès Jullien (IFSTTAR) |
| Date de mise en ligne, version finale | 17 juin 2013 |