

Décryptage

BITUME: VERS DES SOLUTIONS POUR AMÉLIORER LA PROTECTION DES SALARIÉS

COSMIN PATRASCU, NICOLAS BERTRAND, BRUNO COURTOIS, ALINE MARDIROSIAN
INRS, département Expertise et conseil technique

FRANCIS BONTHOUX
INRS, département Ingénierie des procédés

FRÉDÉRIC CLERC, BENJAMIN SUTTER
INRS, département Métrologie des polluants

RAYMOND VINCENT
INRS, Direction déléguée aux applications

NATHALIE JUDON
INRS, département Homme au travail

Plus de trois millions de tonnes de bitume chaud sont épanchées chaque année sur les routes de France. Or, l'emploi de ces bitumes, produits de distillation du pétrole, peut s'avérer dangereux pour la santé des travailleurs. Différents organismes professionnels et institutionnels, dont l'INRS, ont décidé début 2011 de mettre en place des groupes de travail chargés de concevoir et mettre en œuvre de nouvelles solutions de prévention. État des lieux des travaux les plus avancés.

BITUMEN: TARGETING SOLUTIONS THAT ENHANCE WORKER PROTECTION – *Every year, more than three million tonnes of hot bitumen are laid by workers on French roads. Utilisation of these crude oil distillation products can prove hazardous for worker health. Different professional and institutional bodies, including INRS, signed a convention on this issue at the start of 2012 and have set up working groups in charge designing and implementing new preventions solutions. This article reviews the status of their most advanced research.*

La fabrication des routes implique la mise en œuvre d'enrobés - mélanges de graviers, de sable et de liant. Ce dernier est constitué de bitume provenant de la distillation du pétrole brut (le goudron a été progressivement abandonné entre 1980 et 2000). Ces enrobés sont susceptibles d'émettre des fumées pouvant contenir des substances dangereuses, notamment des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont certains sont classés comme cancérigènes, ainsi que des produits irritants. L'exposition aux fumées de bitumes lors des travaux de revêtements routiers a été classée par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), en 2011, comme possiblement cancérigène pour l'homme (groupe 2B).

Depuis 1986, l'INRS a mené, en coopération avec les CRAM-CARSAT, plusieurs études sur l'exposition des salariés à ces fumées, sur leur toxicité ainsi que sur l'efficacité des systèmes de captage des fumées présents sur les finisseurs (engins mobiles chargés d'appliquer les enrobés bitumeux sur les routes).

Afin d'améliorer la prévention du risque chimique dans les travaux routiers, début 2011 différents organismes professionnels ont mis leur ressources en commun (Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF) et Fédération nationale des travaux publics (FNTP)), la Direction générale

du travail (DGT), la CNAMTS, l'INRS, le Groupement national multidisciplinaire de santé au travail dans le BTP (GNMST-BTP) et l'Organisme professionnel de la prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTBTP). Dans ce cadre, des groupes de travail ont été constitués pour travailler à la mise en place de solutions de prévention. Leurs travaux ont porté sur différents thèmes: exposition aux UV, bases de données des expositions aux fumées, maladies professionnelles, évolution des finisseurs, exposition aux substances dangereuses sur les chantiers, recyclage et asphalte. Seuls les travaux les plus avancés sont présentés dans cet article.

Expositions respiratoires aux substances dangereuses sur les chantiers de revêtements bitumineux

Historique

Depuis 1978, les laboratoires interrégionaux de chimie des Carsat/Cram et l'INRS ont réalisé des prélèvements d'air afin de caractériser l'exposition aux produits chimiques sur les lieux de travail. Ces données sont collectées dans la base de données Colchic gérée par l'INRS.

Différentes substances et particules ont été identifiées et mesurées dans les atmosphères de travail (cf. Tableau 1). Seules celles identifiées sur plus de 50 prélèvements individuels sont indiquées.

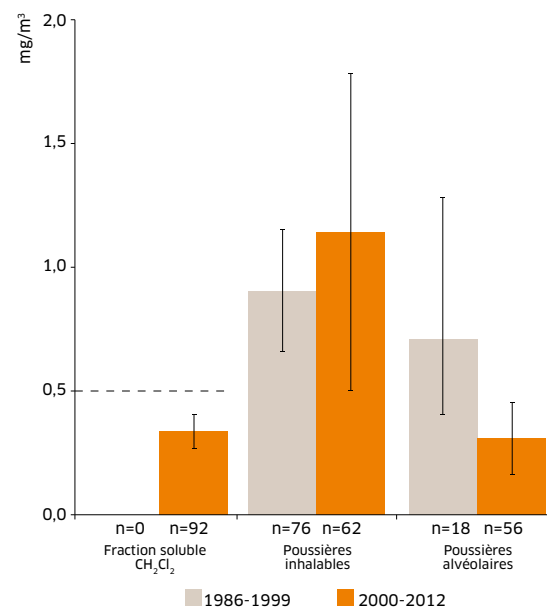
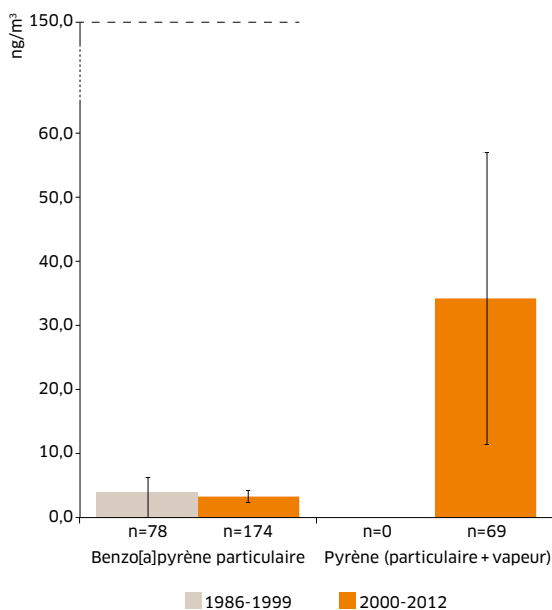
Six indicateurs ont fait l'objet d'une analyse détaillée: le benzo[a]pyrène, le pyrène, la fraction soluble en dichlorométhane (CH_2Cl_2) et les poussières (totales, inhalables et alvéolaires).

- Le benzo[a]pyrène (BAP) est le traceur de l'exposition aux HAP cancérogènes. Une recommandation de la CNAMTS¹ indique une valeur à ne pas dépasser de 150 ng/m^3 .
- Le pyrène est un autre HAP qui ne possède pas de valeur limite.
- La fraction soluble en dichlorométhane est un indicateur non spécifique, utilisé par l'INRS et les CARSAT pour quantifier l'ensemble des composés organiques solubles dans le dichlorométhane. Il est donc un bon traceur d'émission, mais n'est pas un indicateur de risque. À l'origine, ce test se faisait par dissolution dans le benzène (substitué par le dichlorométhane) et la valeur de référence NIOSH associée était de $0,5 \text{ mg/m}^3$. Les deux solvants donnant des résultats similaires, la valeur de $0,5 \text{ mg/m}^3$ est également adoptée pour la fraction soluble en dichlorométhane.
- Les poussières peuvent être caractérisées par les fractions alvéolaire et inhalable dont les VLEP-8h sont respectivement de 5 mg/m^3 et 10 mg/m^3 si les poussières sont réputées sans effet spécifique. Cette analyse porte sur des expositions survenues entre 1986 et 2012. Les résultats ont été exploités en séparant les données obtenues entre 1987 et 1999 et les données obtenues de 2000 à 2012. Ils sont présentés dans la figure 1. Les expositions au BAP, indicateur historique du risque cancérogène, mutagène et reprotoxique (CMR) lié aux goudrons, sont largement inférieures

↓ **TABLEAU I** Principales substances et particules mesurées dans les atmosphères de travail sur les chantiers de revêtements bitumineux

SUBSTANCES	NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS
Benzo[a]pyrène	416
Pyrène	261
Poussières inhalables	183
Fraction soluble CH_2Cl_2	133
Benzo[k]fluoranthène	119
Benzo(e)acéphénanthrylène	115
Benzo[ghi]perylène	115
Poussières alvéolaires	109
Poussières totales	106
Quartz	94
Cristobalite	72
Benzo[a]anthracène	69
Anthracène	65
Particules diesel, carbone organique	64
Particules diesel, carbone élémentaire	64
Chrysène	61
Fluoranthène	59

à la valeur recommandée de 150 ng/m^3 . De même, l'exposition aux poussières est largement inférieure à la VLEP. En revanche, la moyenne arithmétique de l'indicateur fraction soluble au CH_2Cl_2 ($0,34 \text{ mg/m}^3$) est très proche de la valeur guide de $0,5 \text{ mg/m}^3$ et un grand nombre de résultats dépassent cette valeur guide (20%).



↑ **FIGURE I** Moyennes des expositions et intervalles de confiance à 95%. Les valeurs recommandées sont de 150 ng/m^3 pour le BAP et de $0,5 \text{ mg/m}^3$ pour la fraction soluble CH_2Cl_2 .



Travaux en cours à l'INRS

Depuis l'abandon du goudron au profit du bitume, les concentrations en HAP (dont le BAP) sont 1000 fois inférieures: le traceur BAP apparaît donc moins pertinent qu'autrefois.

D'autres méthodes d'évaluation de l'exposition respiratoire ont été développées, telle la « NIOSH 5042 », mais elles produisent des résultats parcellaires, non représentatifs de la totalité de la matière inhalable des fumées, et les étalonnages nécessaires sont très compliqués compte tenu de la variabilité de la composition des fumées en fonction du produit bitumineux utilisé. Le développement et la validation d'une méthode d'évaluation de l'exposition faisant consensus et pouvant être utilisée par tous les acteurs de la prévention se sont donc imposés. Une fois la méthode développée à l'INRS validée, les futures campagnes de mesure permettront d'identifier les pratiques les moins exposantes et leur généralisation.

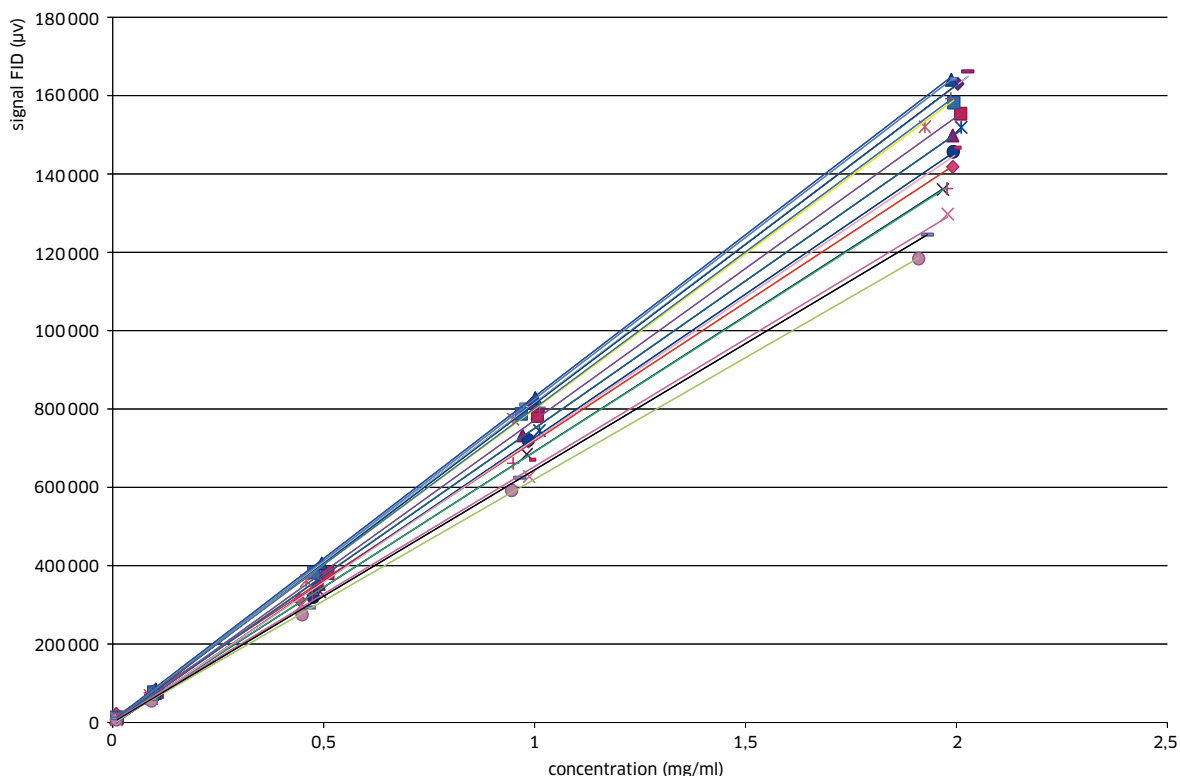
Actuellement, l'INRS travaille à l'élaboration et la validation d'un protocole unique, selon quatre axes:

1. Identifier un solvant de substitution du benzène. Les résultats de l'étude de substitution du benzène montrent que l'heptane ou le cyclohexane - qui ne sont pas classés CMR par la nouvelle réglementation CLP - pourraient être les bons candidats pour la substitution du benzène;
2. Déterminer la bonne configuration de l'échantil-

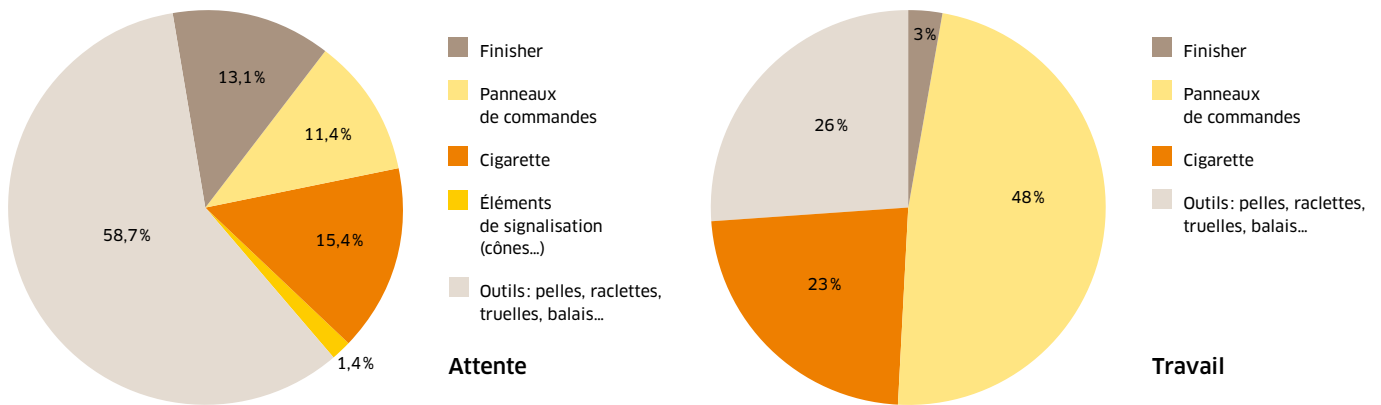
lonneur, compatible avec la méthode d'extraction et d'analyse. L'INRS a conçu un échantillonneur capable de collecter les particules inhalables et les vapeurs qui composent les fumées de bitume;

3. Développer une méthode pour analyser ces deux fractions avec suffisamment de sensibilité pour pouvoir être utilisée durant les 10 ans à venir, tout en étant compatible avec les différents bitumes du marché. La spectrométrie UV² et la HPLC-FLUO³ sont les deux techniques analytiques testées les plus sensibles, avec une limite de quantification (LQ) inférieure à 40 µg.m⁻³ de fumées inhalables (particules + vapeurs). La sensibilité de la GC-FID⁴ est légèrement inférieure aux deux précédentes techniques avec une LQ d'environ 80 µg.m⁻³, alors que celle de la spectrométrie infrarouge se situe aux environs de 500 µg.m⁻³. Cependant, selon les bitumes testés, une variation est observée (cf. Figure 2) dans la réponse de toutes les techniques analytiques testées. Cette variation est limitée pour la GC-FID mais devient importante pour les autres techniques. Elle est expliquée par le changement de composition de chaque fumée. Il est donc envisageable d'utiliser un composé étalon commercial pour calibrer de façon fiable la GC-FID, compte tenu de sa variation limitée. En revanche, ce n'est pour l'heure pas envisagé pour les autres techniques analytiques testées.

4. Proposer une méthode et un matériel (filtres à particules et adsorbants de vapeurs) faciles à



↑ FIGURE II Courbes d'étalonnage du signal obtenu en GC-FID en fonction de la concentration en condensat de fumées de bitume produits à l'INRS à l'aide des échantillons de bitume mis à disposition par le Groupement professionnel des bitumes (GPB).



↑ FIGURE III Pourcentage de temps de contact avec différents objets pour un des postes de régleur de vis en fonction des phases d'activité

mettre en œuvre et utilisables par la majorité des laboratoires d'analyse.

Exposition cutanée aux substances dangereuse sur les chantiers de revêtements bitumineux

Concernant l'exposition cutanée, une étude ergonomique exploratoire a été engagée dans le but de repérer et d'identifier des situations ou modes opératoires qui induisent une exposition de la peau au bitume. Elle fournira des pistes pour l'évaluation de l'exposition cutanée ou de la contamination des surfaces. Les entreprises Colas et

Eurovia ont permis un accès à leurs sites pour la réalisation de cette étude.

L'analyse de l'activité est le fil conducteur de la démarche. Elle s'appuie sur les données d'observation issues d'enregistrements vidéo réalisés sur des chantiers, qui ont permis la construction d'hypothèses de travail et d'un outil de caractérisation du contact cutané. Cette analyse a été complétée par une évaluation subjective du risque lié au contact cutané avec le bitume, grâce à des confrontations collectives aux observations recueillies par vidéo.



Finisseur: engin de chantier utilisé pour épandre uniformément et pré-compacter le revêtement bitumineux.



À gauche :
Exemple
de système
de captage de
fumées sur un
finisseur
(en rouge
sur la photo).
À droite :
Exemple de
séparation d'un
finisseur selon
la méthode
NIOSH 97-105.



Les résultats intermédiaires suggèrent que certaines situations d'exposition cutanée au bitume peuvent être plus fréquentes en phase d'attente qu'en phase de travail. Ces situations sont fonction des phases de l'activité et du poste occupé. Par exemple, un « régleur » est majoritairement en contact avec le tableau de commande pendant la phase de travail alors qu'il est plutôt en contact avec un outil souillé, sans gants, pendant la phase dite d'attente (cf. Figure 3).

Les grilles de caractérisation ont permis de déterminer l'exposition cutanée au bitume en situation de travail et le port ou non de gants. Il s'avère que opérateurs ne portent pas systématiquement les gants malgré la consigne de le faire. Ce défaut

de protection semble lié à une non-perception du risque lié au contact cutané, les opérateurs étant principalement sensibles au risque de brûlure.

Évolution des finisseurs

En matière d'ergonomie et de protection des opérateurs, les finisseurs avaient peu évolué au cours de ces dernières années. Le secteur des travaux routiers étant prêt à soutenir l'évolution des finisseurs, à condition que la qualité d'application des enrobés soit maintenue, la mise en place d'un système de captage des fumées de bitume contribuerait non seulement à réduire l'exposition des opérateurs, mais aussi à améliorer le confort de travail en évacuant le flux de vapeur et d'air chaud.

L'INRS a réalisé des mesures d'efficacité de captage des fumées sur différents finisseurs équipés de dispositifs d'aspiration, soit d'origine soit en deuxième monte. Les facteurs qui conditionnent l'efficacité du captage sont le débit d'air mis en œuvre, la position du dispositif d'aspiration et les courants d'air générés par les différents ventilateurs de refroidissements implantés sous le capot moteur. Ces derniers, s'ils sont orientés défavorablement, peuvent nuire au captage.

L'objectif est de proposer un système de captage et d'aspiration des fumées intégré à la machine ayant une efficacité supérieure à 80% (selon le protocole NIOSH, cf. encadré), permettant une diminution de l'exposition effective au poste de travail et n'apportant pas de contrainte supplémentaire aux utilisateurs en termes d'émissions sonores, d'encombrement, de visibilité, d'accessibilité, de vibrations, et dans un contexte de maintenance maîtrisée.

LE PROTOCOLE D'ÉVALUATION NIOSH

La méthode NIOSH 97-105, adaptée aux matériels américains, est le seul référentiel disponible pour évaluer la performance des captages des finisseurs. Pour la mise en œuvre de la méthode, la machine est installée à cheval entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment (cf. illustration ci-dessus). Les essais réalisés sur six finisseurs ont montré la difficulté de réaliser cette séparation, les résultats étaient perturbés par les conditions climatiques (vent). L'INRS réfléchit actuellement à une évolution du protocole NIOSH pour les matériels européens, en collaboration avec ses homologues américains.

Par la suite, des mesures sur le terrain seront réalisées afin de confirmer l'efficacité des dispositifs de captages en utilisation réelle, et d'identifier les points d'améliorations de la méthode NIOSH.

Recyclage

Les exigences de protection de l'environnement et les impératifs économiques conduisent à recycler tant que possible les matériaux de revêtement routier. La réglementation française considère que tout matériau recyclé contenant plus de 50 mg/kg de HAP, est un déchet dangereux qui doit être déposé dans une Installation de stockage des déchets de classe 2: les agrégats d'enrobés répondant à ce critère ne peuvent donc être recyclés. En revanche, les agrégats d'une teneur inférieure à 50mg/kg en HAP peuvent l'être.

Les travaux du groupe concernant le recyclage portent sur:

- la caractérisation des chaussées, avec un accent sur la présence de l'amiante et des HAP;
- un guide d'aide à la rédaction de FDS d'un enrobé bitumeux (avec ou sans recyclats);
- la rédaction de fiches de bonnes pratiques concernant les interventions sur voirie et chaussées, la manutention, le transport, le stockage et la mise en œuvre de revêtements bitumeux.

Concernant la caractérisation des chaussées, le groupe de travail a fixé trois objectifs:

- Établir des recommandations sur la caractérisation des chaussées à l'intention des maîtres d'ouvrages (HAP-Amiante);
- Réaliser une étude sur l'exposition aux HAP lors du recyclage d'agrégats d'enrobés contenant au maximum 50 mg/kg de HAP. À partir d'une analyse des résultats d'études de laboratoire et de terrain réalisées par l'Office fédéral suisse des routes⁵, il semble en effet que le recyclage d'enrobés routiers contenant moins de 50mg/kg de HAP ne génère pas d'exposition supérieure à la valeur de 150 ng/m³ recommandée par la CNAMTS pour le BAP. Afin de vérifier cette hypothèse, il est prévu de réaliser des mesures d'exposition par analyse de l'air des lieux et suivi biologique lors d'un chantier mettant en œuvre des agrégats d'enrobés contenant des HAP.
- Évaluer les expositions à l'amiante lors des opérations de retrait de chaussées amiantées. Afin de caractériser les niveaux d'empoussièrement et d'exposition à l'amiante lors d'interventions sur des chaussées en contenant au maximum 1% d'amiante en masse (revêtements Compoflex ou Mediflex), des mesures ont été réalisées en coopération avec le laboratoire de toxicologie de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Ile-de-France (CRAMIF) pour la réalisation des prélèvements, et avec l'INRS pour l'analyse META. Les données sont en cours d'analyse.

Un guide d'aide à la rédaction de fiches sur les données de sécurité d'enrobés bitumeux est en cours d'élaboration. Les différents types d'enrobés seront traités de la même manière. Une définition des agrégats d'enrobés sera donnée. La classification du CIRC ainsi que les risques chimiques encourus avec l'augmentation de la température seront mentionnés (brûlure, irritation par voie cutanée et inhalation, etc.).

L'emploi d'enrobé recyclé sera encadré par les recommandations suivantes:

- 10% maximum de la nouvelle formulation;
- Sans amiante;
- HAP < 50 mg/kg d'enrobé.

Concernant les interventions sur voirie et chaussées, la manutention, le transport, le stockage et la mise en œuvre, quatre fiches de bonnes pratiques, actuellement en cours de validation, ont été rédigées. Elles proposent des recommandations de prévention destinées à encadrer les interventions sur chaussés vis-à-vis des risques liées aux poussières. Elles prennent en compte, d'une part, le risque lié à la présence de silice cristalline dans les revêtements routiers, considéré comme le cas général, et, d'autre part, le cas particulier de la présence d'amiante dans ces revêtements.

Elles concernent:

- les généralités;
- le rabotage des chaussées;
- les interventions ponctuelles sur chaussées;
- la démolition de chaussées par des techniques autres que le rabotage. ●

1. *Recommandation CNAMTS R 278*

2. *Ultraviolet*

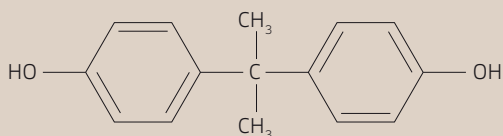
3. *Chromatographie Liquide à Haute Performance - Détection par fluorescence*

4. *Chromatographie en phase Gazeuse - Détection par ionisation de Flamme*

5 HUGENER M, EMMENEGGER L., MATTREL P. *Hot-Recycling of Tar-Containing Asphalt, Pavements Emission Measurements in the Laboratory and in the Field*, RMPD-II/2010, *Asphalt Pavements and Environment*, pp. 29-46

Erratum

Une erreur s'est glissée dans la représentation de la molécule de bisphénol A ou BPA (rubrique Décryptage, HST n°231). La structure chimique du BPA est la suivante:



BPA