



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT

INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Caractérisation des déchets

LE GOUDRON DANS LES DECHETS DU RESEAU ROUTIER

- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- METHODES DE CARACTERISATION RAPIDES

**Ministère de l'Aménagement du Territoire
et de l'Environnement**

Claire BRAZILLET- Jérémie DOMAS

Chef de projet: Guillaume PEPIN

*Unité Déchets et Sites Pollués
Direction des Risques Chroniques*

31 décembre 2001



Caractérisation des déchets

LE GOUDRON DANS LES DECHETS DU RESEAU ROUTIER

- ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- METHODES DE CARACTERISATION RAPIDES

Ministère de l' Aménagement du Territoire
et de l'Environnement

31 DECEMBRE 2001

Ce document comporte 60 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	Claire BRAZILLET Jérémie DOMAS	H.BAROUDI	M.NOMINE
Qualité	Ingénieurs Unité Déchets et Sites pollués Direction des Risques Chroniques	Responsable Unité Déchets et Sites pollués Direction des Risques Chroniques	Délégué scientifique Direction des Risques Chroniques
Visa		 Frédéric MARCEL Directeur Adjoint Unité des Risques Chroniques	

TABLE DES MATIERES

1	RESUME	7
2	INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	7
3	ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	8
3.1	Contexte réglementaire	8
3.1.1	Contexte européen	8
3.1.1.1	Gestion des déchets	8
3.1.1.2	Les déchets dangereux	9
3.1.2	Contexte français	9
3.1.2.1	Gestion des déchets	10
3.1.2.2	Les déchets dangereux	12
3.1.3	Conclusion	12
3.2	Les enjeux	12
3.2.1	Enjeux économiques	12
3.2.1.1	Généralités	12
3.2.1.2	Les besoins et les potentialités de valorisation	13
3.2.1.3	Les critères de recyclage	13
3.2.2	Exemples de politiques en Europe	14
3.2.2.1	En Allemagne	14
3.2.2.2	Aux Pays-Bas	14
3.2.2.3	En Suisse	14
3.2.3	Enjeux de la valorisation dans les secteurs d'activité concernés	15
3.2.4	Conclusion	16
3.3	Définitions et caractéristiques des matériaux hydrocarbonés	16
3.3.1	Définitions générales	16
3.3.1.1	L'enrobé	16
3.3.1.2	Le revêtement	16
3.3.1.3	Les déchets bitumineux	16
3.3.1.4	Les liants hydrocarbonés	17
		17
3.3.2	Nomenclature et caractérisation	17
3.3.2.1	Les liants de base	17
3.3.2.2	Les « liants composés »	18
3.3.2.3	Les liants fluides	18
3.3.2.4	Les liants modifiés	18
3.3.3	Normalisation	18
3.3.3.1	Normalisation française	18
3.3.3.2	Normalisation européenne	19
3.3.3.3	Cas particuliers	20
3.3.3.4	Normalisation pour l'emploi de déchets recyclés	20
3.3.4	Conclusion	21
3.4	Caractérisation des goudrons	21
3.4.1	Les goudrons	21
3.4.1.1	Origine	21
3.4.1.2	Le goudron de houille	22

3.4.1.3	Le brai de goudron ou brai de houille	23
3.4.1.4	Pratiques et prévention	23
3.4.2	Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	24
3.4.3	Danger pour la santé publique	25
3.4.3.1	Effets cancérigènes	26
3.4.3.2	Effets non cancérigènes	26
3.4.3.3	Valeurs d'exposition professionnelles	27
3.4.4	Dangers pour l'environnement	27
3.4.4.1	Pollution atmosphérique	27
3.4.4.2	Pollution sol-eau	28
3.4.5	Conclusion	29
3.5	Historique de l'usage du goudron en technique routière	29
3.5.1	Premières applications des liants hydrocarbonés pour les revêtements routiers	29
3.5.1.1	L'asphalte	29
3.5.1.2	Le goudron	29
3.5.1.3	Le bitume	29
3.5.2	Développement du réseau routier français	29
3.5.3	Évolution de l'utilisation des liants hydrocarbonés (goudron/bitume)	30
3.5.4	Conclusion	31
3.6	Situation actuelle du réseau routier français	31
3.6.1	Présence du goudron dans le réseau routier français	31
3.6.2	Répartition géographique des revêtements goudronnés	32
3.6.2.1	Dans le réseau routier français	32
3.6.2.2	Cas des applications spécifiques	32
3.6.3	Réfection des routes en France	33
3.6.4	Devenir des déchets de construction routière	34
3.6.5	Conditions actuelles du recyclage et de la valorisation	34
3.6.6	Conclusion	35
3.7	Production et marchés du goudron en France	35
3.7.1	La production de goudron	35
3.7.2	Les marchés	36
3.7.3	Conclusion	36
3.8	Conclusions Générales	37
4	Methodes rapides de caracterisation des goudrons	38
4.1	Introduction	38
4.2	Méthodes de détection des HAP contenus dans les déchets routiers	38
4.3	Etude expérimentale sur site	42
4.3.1	Problématique	42
	Actuellement, les liants hydrocarbonés à base de bitume représentent plus de 95 % des liants hydrocarbonés utilisés en techniques routières. Les réfections complètes de chaussées étant restreintes du fait des coûts et des problèmes logistiques engendrés par les travaux. La difficulté majeure de l'étude semblait donc être la récupération de déchets de démolition contenant des composés goudronnés, et plus encore, l'obtention d'un gradient de teneurs en HAP, qui permettrait de déterminer les limites des différentes méthodes sur le terrain.	42
4.3.2	Partenariat	42

4.3.3	Campagne d'échantillonnage	42
4.3.3.1	Les chantiers de démolition	42
4.3.3.2	Les CET de Classe III	44
4.3.3.3	Les centrales d'enrobés	44
4.3.3.4	Les stations-services	45
4.3.3.5	Récapitulatif des échantillons prélevés	45
4.3.4	Réalisation des essais	47
4.3.4.1	Mise en œuvre des méthodes	47
4.3.4.2	Lisibilité des résultats	49
4.3.5	Résultats des essais	51
4.3.6	Conclusions de l'étude expérimentale sur sites	52
4.3.6.1	Commentaires sur les essais	52
4.3.6.2	Commentaires sur les méthodes	53
4.3.6.3	Remarques et recommandations	53
4.4	Etude expérimentale de laboratoire	54
4.4.1	Préparation des échantillons	54
4.4.2	Analyse quantitative des HAP	55
4.4.3	Résultats	56
4.5	Conclusions de l'étude expérimentale	57
5	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	58
6	BIBLIOGRAPHIE	59
7	LISTE DES ANNEXES	62
	RECENSEMENT SOMMAIRE DES DÉCHETS DE LA ROUTE ET DE LEURS POTENTIALITÉS DE VALORISATION (Sources : note d'information n° 63 du SETRA; CIFP de Tours, dans le cadre des travaux de Dequade Environnement)	66
	<i>Activité</i>	66
	<i>Nature du déchet</i>	66
	Usage	66
	<i>Détecteur par photoluminescence</i>	74
	Cet appareil est en cours de validation aux USA.	74
	Principe de fonctionnement	74
	Mode d'emploi	74
	Résultats	74
	Sensibilité	75
	Avantages et inconvénients	75
	Normalisation et réglementation	75
	<i>PAK Marker</i>	76
	Principe de fonctionnement	76
	Mode d'emploi	76
	Résultats	76
	Sensibilité	77
	Avantages et inconvénients	77
	Normalisation et réglementation	77
	<i>par sublimation</i>	78

Cette méthode a été mise au point par ARBIT en Allemagne et présentée au cours de communication européenne en 2000.	78
Principe de fonctionnement	78
Mode d'emploi	78
Sensibilité	78
Normalisation et réglementation	79
Remarques	79
<i>Tache au Toluène</i>	80
Principe de fonctionnement	80
Mode d'emploi	80
Résultats	80
Sensibilité	80
Avantages et inconvénients	81
Normalisation et réglementation	81
<i>Référence</i>	83

1 RESUME

Les réglementations européennes et françaises encadrent de manière de plus en plus drastique la gestion des déchets, en terme de réduction, de nocivité. La valorisation est favorisée pour que seuls les déchets ultimes soient conservés en installation de stockage.

Les déchets de construction et de démolition routière à base de goudron représentent un problème particulier, du fait de son utilisation intensive depuis la fin du XIX^e siècle. Le goudron, dérivé de la houille, est constitué de fortes teneurs (de 20 à 50 %) en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont les effets génotoxiques sont bien connus. Certains HAP sont qualifiés de cancérigène, mutagène et toxique pour la reproduction. L'impact de ces polluants sur l'environnement est tributaire de l'abrasion des revêtements superficiels (enduits et coulis), et du lessivage des goudrons dans la masse des enrobés.

De nombreuses normes attestent des possibilités d'utilisation de ces produits. Actuellement, ils sont encore employés pour des utilisations particulières (propriété anti-kérosène), mais leur remplacement est en cours d'étude et d'évaluation pour ces usages. Avec le vieillissement des routes, il est à prévoir de nombreux déchets de démolition routière chargés en goudron.

Le devenir de ces matériaux bitumineux pollués au goudron peut être l'élimination ou la valorisation. Dans ce cadre, la détermination de la présence du goudron dans les matériaux bitumineux est un paramètre essentiel. Elle doit pouvoir se faire au plus tôt afin d'orienter les déchets routiers et faciliter leur ré-emploi éventuel.

Plusieurs méthodes de détection ont été recensées, et trois d'entre elles ont été expérimentées : le PAK Marker, l'appareil TSE et la tache au toluène. Les critères de sélection retenus pour le choix de ces méthodes sont la facilité et la simplicité d'usage sur un site (chantier ou décharge), la rapidité (délai court pour orienter les déchets à partir d'un chantier de démolition), et la fiabilité de lecture des résultats.

La méthode la plus « rustique » reste le PAK Marker. Généralement, ces méthodes permettent d'atteindre un seuil de quantification de l'ordre de 100 mg/kg. La lisibilité des résultats est nuancée : elle dépend de la lecture en lumière visible ou UV pour le PAK Marker, de la durée de chauffe et d'une lecture qualitative pour l'appareil TSE, et de la quantité de toluène versée pour la méthode à la tache.

D'autres méthodes existent. Elles nécessitent des moyens plus conséquents et plus de technicité de la part du personnel. Elles proposent des résultats semi-quantitatifs, mais ne possèdent pas la rusticité requise pour ce type de procédure rapide.

2 INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La réglementation française est en cours d'élaboration pour encadrer le stockage des déchets, et en particulier des déchets dits « inertes ». Elle fait suite à la directive européenne sur la mise en décharge (JOCE du 16 juillet 1999), qui fixe les prescriptions à respecter pour les décharges de déchets inertes, non dangereux, et dangereux.

Dans ce contexte de réglementation nationale, soutenu par une volonté politique européenne, la gestion des déchets de démolition routière revêt une importance toute particulière. Divers constats appuient cette observation :

- Une production de déchets de démolition routière en augmentation constante ;
- Par conséquent, un volume croissant à traiter, valoriser ou stocker ;
- Un type de pollution particulier pour les enrobés goudronnés : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;

Cette étude recherche des réponses aux différents aspects de la problématique :

- La présence de goudron dans les enrobés bitumineux est-elle encore d'actualité après environ trente années d'évolution des produits bitumineux ?
- Comment définir et caractériser les déchets de chantier de démolition routière ?
- Quels sont les textes et moyens actuellement mis en œuvre pour limiter les nuisances de ces déchets ?
- Existe-il des méthodes rapides de détermination du goudron dans les matériaux bitumineux ?

Ce rapport s'efforce d'apporter des éléments de réflexion et de réponse pour les déchets de chantier de démolition routière. En effet, un déchet ne peut être qualifié d'inerte s'il contient du goudron, composé d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont la toxicité est bien connue.

La première partie de l'étude présente les différents aspects de la problématique d'un point de vue bibliographique : les réglementations françaises et européennes en vigueur, les conséquences de la présence du goudron dans les enrobés, la caractérisation des goudrons et de leur potentiel polluant, l'historique de l'utilisation des produits goudronnés en construction routière et la situation actuelle du réseau français, enfin la production et les utilisations suspectées.

La seconde partie détaille la démarche expérimentale entreprise pour tester différentes méthodes de détection rapide du goudron, identifiées au cours de la partie bibliographique, pour de nombreux échantillons de déchets routiers.

3 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

3.1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Cette partie rappelle les principaux textes réglementaires concernant la gestion des déchets. Elle fournit également les textes spécifiques encadrant les produits à base de goudron, classés dans la catégorie des déchets dangereux du fait de leur teneur en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

3.1.1 Contexte européen

3.1.1.1 Gestion des déchets

3.1.1.1.1 Définitions et classification

La directive n° 75/442/CEE, modifiée par la directive n° 91/156/CEE et la décision n° 96/350/CE, privilégie la prévention dans la production des déchets et la réduction de leur nocivité, avant d'encourager la valorisation de ceux-ci ou l'élimination sans danger pour la santé humaine et l'environnement.

L'annexe 1 de cette directive prend en compte 20 catégories de déchets. Le catalogue européen des déchets (CED) reprend la liste des déchets, adoptée par la Commission Européenne le 20 décembre 1993.

3.1.1.1.2 Information et élimination

La directive n° 75/442/CE, modifiée par la directive n° 91/156/CE, dicte aux établissements et entreprises effectuant des opérations d'élimination et de valorisation, une obligation d'information sur les déchets.

Les divers aspects de l'élimination des déchets sont prévus dans la directive européenne n° 1999/31 du 26 avril 1999, relative à la mise en décharge, et qui fixe en particulier les prescriptions à respecter pour les décharges de déchets inertes.

3.1.1.1.3 Transfert et transport

Enfin, le transfert et le transport des déchets sont également réglementés par des recommandations et conventions entre les états membres (règlement n° 259/93/CEE).

3.1.1.2 Les déchets dangereux

La directive n° 78/319/CEE, remplacée par la directive n° 91/689/CEE, définit les déchets toxiques ou dangereux selon leur caractère de toxicité ou cancérigène.

Une liste minimale des déchets dangereux « indiscutables » a été établie par la décision n° 94/904 CE, remplacée par la décision n° 2000/532/CE. La mise à jour et l'extension progressive de cette liste est dépendante des critères d'attribution du caractère dangereux, mais surtout de leur applicabilité effective. Ces critères sont explicités dans l'annexe III de la directive n° 91/689 CEE, et peuvent être schématiquement résumés dans les catégories suivantes :

- H1 à H3 « dangers physiques »,
- H4 à H12 « dangers pour la santé humaine »,
- H13 « danger suite à l'élimination du déchet »,
- H14 « Ecotoxicité - danger pour l'environnement ».

Les états membres ont obligation de mettre en place un système de gestion, de contrôle et d'autorisation des établissements assurant l'élimination ou la valorisation, la collecte ou le transport des déchets dangereux.

Les travaux exposant des ouvriers aux HAP présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille sont traités dans la directive européenne relative à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes au travail (directives n° 90/394/CEE et n° 1999/38/CE).

3.1.2 Contexte français

La France participe aux différents travaux et études préalables à l'édiction des textes réglementaires européens, puis les transpose en droit interne.

La transposition se fait *a minima*, c'est-à-dire que les critères européens doivent être au moins respectés. Ils peuvent être modifiés, mais uniquement dans le sens d'une plus grande sévérité.

3.1.2.1 Gestion des déchets

3.1.2.1.1 Définitions et classification

La loi n° 75-633 du 15 juillet 1975, modifiée par la loi du 13 juillet 1992, préconise :

- 1- De prévenir ou réduire la production et la nocivité des déchets, notamment en agissant sur la fabrication et sur la distribution des produits ;
- 2- D'organiser le transport des déchets et de le limiter en distance et en volume ;
- 3- De valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- 4- D'assurer l'information du public sur les effets des opérations de production et d'élimination des déchets, vis-à-vis de l'environnement et de la santé publique sous réserve des règles de confidentialité prévues par la loi, ainsi que sur les mesures destinées à en prévenir ou à en compenser les effets préjudiciables.

Elle concerne l'ensemble des déchets et définit la notion de déchet ultime, qui seul sera admis en stockage dans les décharges à compter du 1^{er} juillet 2002 (article 2-1). Un déchet ultime est « un résidu qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

Selon les risques pour la santé humaine et l'environnement représentés par les différents types de déchets ultimes, ils seront orientés et stockés dans des C.E.T. (Centres d'Enfouissements Techniques) :

- de classe I pour les déchets industriels spéciaux (D.I.S.), et réglementés par l'arrêté du 18 décembre 1992 modifié par celui du 18 février 1994 ;
- de classe II pour les déchets ménagers ou assimilés (D.M.A.) ou les déchets industriels banals (D.I.B.), et réglementés par l'arrêté du 9 septembre 1997 ;
- de classe III pour les déchets inertes, encadrés par le guide technique pour le stockage des déchets inertes (avril 2001) et par la circulaire du 15 février 2000 [MATE, 2000].

Les installations d'élimination des déchets « industriels spéciaux » et « ménagers et assimilés » sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et dépendent de la loi du 19 juillet 1976. Ce texte classe les installations en deux catégories : celles soumises à autorisation et celles soumises à déclaration. Son champ d'application s'étend aux sites, aux monuments, à la nature et à l'environnement. Il s'applique aux pollutions privées et publiques ainsi qu'à toutes les installations agricoles.

Jusqu'à présent, les décharges de classe III qui accueillent les déchets inertes n'ont pas de statut réglementaire précis. Elles relèvent du Code de l'Urbanisme. La transposition en droit français de la directive européenne sur la mise en décharge adoptée le 26 avril 1999, devrait conduire prochainement à des arrêtés spécifiques pour les nouveaux CET de classe I, II et III d'ici le 1^{er} juillet 2002 [MICHEL, 2000].

L'avis paru au journal officiel du 11 novembre 1997 reprend la nomenclature des déchets du catalogue européen (CED).

Les déchets avec goudron sont recensés dans la classification des déchets. Ils apparaissent dans :

1. les déchets provenant du raffinage du pétrole, de la purification du gaz et du traitement pyrolytique du charbon (rubrique « 05 00 00 ») :
 - « 05 01 00 » boues et déchets solides contenant des hydrocarbures ;
 - « 05 06 00 » déchets provenant du traitement pyrolytique du charbon ;
 - « 05 08 00 » déchets provenant de la régénération de l'huile ;
2. les déchets inorganiques provenant de procédés thermiques (rubrique « 10 00 00 ») :
 - « 10 03 00 » déchets de la pyrométallurgie de l'aluminium ;
3. les déchets de construction et de démolition (y compris la construction routière), (rubrique « 17 00 00 ») :
 - « 17 03 00 » asphalte, goudron, bitume et produits goudronnés.

3.1.2.1.2 Information et élimination

La loi du 19 juillet 1976 demande une gestion des déchets générés à tous les stades du cycle de vie du produit, et qui assure l'élimination des déchets de façon conforme. Le décret n° 77-974, complété par l'arrêté du 4 janvier 1985, édicte l'obligation d'information et de suivi de certains déchets.

Les décrets n° 96-1009 et n° 96-1008 du 18 novembre 1996 sont relatifs aux plans d'élimination des déchets « industriels spéciaux » et « ménagers et assimilés » respectivement. Des circulaires DPPR/SDPD de 1997 et 1998 définissent des plans régionaux et départementaux d'élimination des déchets industriels spéciaux.

Dans le cadre des objectifs de la loi du 13 juillet 1992, la circulaire du MATE/DPPR du 15 février 2000 fournit des orientations pour la planification de la gestion des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics. La circulaire du **18 juin 2001** donne des instructions concernant la gestion des déchets de construction routière en vue de l'échéance du 1^{er} juillet 2002.

En raison de leurs propriétés dangereuses (HAP en teneur élevée), les goudrons sont considérés comme déchets industriels spéciaux. Les goudrons cités dans les rubriques « 05 01 00 », « 05 06 00 » et « 10 03 00 » sont stockables, après stabilisation, dans les CET de classe I (Nomenclature des déchets : mode d'emploi, version 2 de juin 1998). Les autres déchets contenant du goudron (rubriques « 05 08 00 » et « 17 03 00 ») font partie de la catégorie C des déchets industriels spéciaux : « déchets admis au cas par cas jusqu'au 30 mars 1995 » ; les critères d'admission comportent une analyse de HAP, dont le seuil est fixé à 260 mg HAP/kg (arrêté du 18 février 1994).

Les déchets de construction routière sont admis en décharge de classe II catégorie D (asphaltes et produits complexes d'étanchéité bitumineux) ou de classe III catégorie F (certains matériaux enrobés et coulés sans goudron). L'**annexe A** donne une vision globale du stockage des principaux types de déchets de la route.

3.1.2.1.3 Transferts et transports

L'arrêté du 4 janvier 1985, le décret n° 98-679 et la circulaire du 16 décembre 1998 encadrent le transfert et le transport des déchets.

3.1.2.2 Les déchets dangereux

Les textes communautaires européens sont repris par :

- Le décret n° 77-974 relatif aux déchets générateurs de nuisances, comprenant en particulier les déchets constitués principalement par des hydrocarbures ;
- Le décret n° 97-517 relatif aux critères d'attribution du caractère dangereux des déchets. La classification utilisée dans ce texte reprend celle du Catalogue Européen des Déchets.

La nomenclature des ICPE classe le stockage et l'emploi du goudron, asphalte, brai et matières bitumineuses en catégorie A-1 ou D selon le tonnage dans les installations. Cette classification exclut les centrales d'enrobages de matériaux routiers (décret du 20 mai 1953, modifié le 30 mars 2000).

Les règles de prévention et de contrôle des risques professionnels sont ratifiées par la loi n° 93-880, les décrets n° 95-1241 et n° 2001-97 [DPSCT, 2000].

3.1.3 Conclusion

Les réglementations nationales et européennes sur les déchets n'ont cessé d'évoluer au cours de la dernière décennie, et toujours vers des exigences plus élevées concernant les critères d'évaluation du danger pour l'homme et pour l'environnement.

Les déchets de goudron ou contenant principalement des HAP sont recensés dans la nouvelle nomenclature (CED). Du fait de leur classement dans la catégorie des déchets dangereux, leur stockage doit s'effectuer en CET de classe I.

Les textes européens et français ne statuent pas clairement sur l'élimination des déchets de construction et de démolition routière. Cependant, les installations de stockage pour déchets inertes restent la principale destination de ces déchets, qui ne doivent pas être souillés par le goudron.

Il serait donc souhaitable d'aboutir à une réglementation pour l'élimination de ces déchets, de définir les méthodes de détection et d'analyse des goudrons, et les seuils d'amissibilité associés pour le stockage dans les centres d'enfouissements techniques adéquats.

3.2 LES ENJEUX

Plus de 100 millions de tonnes de déchets des travaux publics (majoritairement des terres) sont produits chaque année en France. Pour 95 % d'entre eux, il s'agit de déchets inertes et non polluants : terres de déblais, matériaux de déconstruction, excédents de chantier. Ils sont employés sur place sans autre manipulation, envoyés en décharge de classe III (stockage de déchets inertes), ou recyclés après traitement.

3.2.1 Enjeux économiques

3.2.1.1 Généralités

Désormais, deux aspects s'affrontent : le développement de la filière valorisation (ré-emploi, recyclage, etc.) et le coût de la mise en décharge (transport, stabilisation, et stockage).

Quatre types d'acteurs sont concernés par ces enjeux :

- Les maîtres d'œuvre : généralement les institutions publiques, responsable de la gestion des déchets sur leur territoire (Conseil général, DDE, Commune) ;
- Les entreprises de construction routière (maître d'ouvrage) ;
- Les responsables des filières de valorisation ;
- Les responsables des filières de stockage.

Cette évolution a conduit les principales entreprises de construction routière à se diversifier dans différentes activités : de la production d'enrobé à la construction routière, de la démolition de chaussées au recyclage et à la valorisation des déchets routiers, parfois même jusque dans la gestion de centres de stockage (classe III, en particulier).

3.2.1.2 Les besoins et les potentialités de valorisation

Dans les pays de l'OCDE, la consommation des granulats naturels est comprise entre 5 et 8 tonnes par habitant et par an [AIPCR, 1999]. Les besoins nationaux sont de 1 million de tonnes par jour.

Avec l'élargissement des frontières nationales à l'Europe Communautaire et le déplacement vers l'Est du pôle européen, les investissements en interconnection du réseau français avec les grands axes autoroutiers représentent des enjeux économiques et sociaux importants [USIRF, 2001]. Ces travaux nécessiteront de formidables quantités de matériaux.

Des granulats recyclés issus de différentes industries permettraient de réduire d'environ 10 % (15 à 20 millions de tonnes) la consommation annuelle de granulats naturels utilisés pour la construction des routes [FNTP, 2001]. En particulier, l'utilisation des matériaux bitumineux valorisés participerait de manière non négligeable à cet effort. Ce débouché soulagerait d'autant l'approvisionnement en granulats, parfois délicat pour certaines régions (Ile-de-France). En outre, il permettrait de préserver l'environnement et les ressources naturelles limitées. Enfin, le volume de déchets ainsi absorbé dans le secteur de la construction routière éviterait une gestion onéreuse et relativement limitée en moyens de l'élimination de ces mêmes déchets.

Actuellement, malgré la pression environnementale, la commercialisation des granulats recyclés d'origine bitumineuse est freinée par le coût de production des matériaux naturels (moins chers). Elle reste ainsi circonscrite à la proximité des lieux de production, ou dans les zones fortement urbanisées (métropoles). Cette particularité économique fait de la France, malgré sa forte production de granulats de recyclage, une exception européenne [MICHEL, 2000].

Le Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) a recensé les déchets de la route, et leurs potentialités de valorisation : les produits hydrocarbonés peuvent être recyclés ou valorisés avec précaution, à l'exception des goudrons et brai à éliminer en CET de classe I. Il propose également un Schéma d'Organisation et de GEstion des Déchets (SOGED) avec les coûts qu'impliquent les traitements et le stockage des déchets de la route en 2000. Ces informations sont présentées en **annexe B**.

3.2.1.3 Les critères de recyclage

Le problème majeur est de juger de la qualité « inerte » d'un déchet issu des techniques routières. Les concentrations en micropolluants contenues caractérisent le déchet routier (inerte ou non) et déterminent son orientation : stockage ou valorisation éventuelle.

En France, pour définir les orientations, l'accent est mis sur la réduction du risque en privilégiant la recherche de seuils associés à des scénarios d'utilisation, mais aussi à une technique analytique [MICHEL, 2000]. Ces valeurs déterminent les volumes de déchets susceptibles d'entrer ou non dans les filières de valorisation.

3.2.2 Exemples de politiques en Europe

3.2.2.1 En Allemagne

Les granulats de recyclage contenant du goudron (teneur jusqu'à 10 % de goudron, soit environ 20 000 mg 16 HAP-EPA/kg) sont utilisés aussi bien avec du ciment qu'avec des émulsions de bitume pour liant.

Il s'agit d'un procédé de recyclage à froid qui stabilise les granulats par le ciment et fournit des revêtements routiers très résistants. Ils peuvent toutefois présenter une tendance à la fissuration. Les revêtements de recyclage avec émulsions de bitume sont moins sensibles à la fissuration et présentent l'avantage de conserver le même type de liant hydrocarboné, ce qui facilite un ré-emploi éventuel.

La réalisation de ce type de revêtement exige un savoir-faire technique. Le type de liant exerce une influence secondaire sur le relargage des HAP, si le revêtement est compact et imperméable à l'eau [HUGENER, 1999].

Enfin, des recherches en cours ont permis le développement d'une méthode par sublimation, qui permet de distinguer les matériaux contenant des HAP, qu'ils soient présents seuls ou comme composants d'autres mélanges [GLET, 2000].

3.2.2.2 Aux Pays-Bas

Le recyclage est un enjeu politique d'importance aux Pays-Bas, où l'espace est petit, donc « rare et cher » [ONFIELD, 2001].

Avant 1980, environ dix milles tonnes de goudrons étaient appliquées en construction routière chaque année sur le réseau routier. Depuis, l'usage du goudron n'a plus cours aux Pays-Bas. Cependant, le goudron est encore présent dans la structure des chaussées sur ¼ du réseau routier et pourrait poser des problèmes à l'avenir, en terme d'entretien et de réfection des routes concernées [ONFIELD, 2001].

Jusqu'en 2001, le recyclage des matériaux contenant des goudrons n'était autorisé que dans des conditions très particulières, en l'absence de méthode d'extraction des goudrons contenus dans les bétons bitumineux.

En 2002, des alternatives devraient être opérationnelles telles que la conversion thermique du goudron (traitement des matériaux par la chaleur et la vapeur). Si ce processus est considéré comme novateur, il apparaît complexe à mettre en œuvre [ONFIELD, 2001].

Une autre difficulté est de rendre ces procédés économiquement attractifs, et par conséquent d'encourager les investissements dans des usines de retraitement. Par ailleurs, face à l'obligation de traiter l'ensemble des bétons bitumineux contenant du goudron, il est nécessaire de disposer d'une capacité de traitement suffisante.

3.2.2.3 En Suisse

Jusqu'en 1991, le goudron a été utilisé en Suisse. La réglementation a limité l'utilisation des revêtements contenant du goudron pour ensuite les interdire (Ordonnance sur le Traitement de Déchets et Directives suisses sur le recyclage des déchets de chantiers minéraux [OFEFP, 1997]).

Les revêtements à faibles teneurs en HAP (seuil inférieur à 5 000 mg/kg) peuvent être recyclés : sous forme liée à chaud (en centrale d'enrobage) ou à froid (in situ) ; sous forme non liée ; stockable en décharge pour déchets inertes. Il est également possible de recycler des croûtes d'enrobés contenant jusqu'à 20 000 mg/kg, mais uniquement sous forme liée à chaud (en centrale d'enrobage). Au delà de 20 000 mg/kg, les déchets sont orientés vers une décharge contrôlée bioactive [HUGENER, 1999].

Un nouveau projet est actuellement en cours pour encadrer plus précisément l'utilisation des déchets de construction routière. La détermination de la teneur en HAP permettra d'orienter les déchets vers les différentes possibilités d'utilisation ou d'élimination. L'**annexe C** regroupe deux présentations schématiques des projets en cours.

Une collaboration entre les autorités, les milieux professionnels de la construction et les milieux de recherche a permis d'améliorer l'acceptabilité et les débouchés potentiels des produits de construction recyclés, techniquement et écologiquement irréprochables [HUGENER, 1999].

D'autre part, les autorités suisses ont engagé une réflexion plus globale sur les déchets provenant de la route tels les déchets de balayage et les boues de dépotoirs de routes (équivalent suisse des « déchets routiers »).

3.2.3 Enjeux de la valorisation dans les secteurs d'activité concernés

A l'exemple des MIOM, les entreprises de valorisation des déchets de démolition mettent en évidence les difficultés de qualification des produits recyclés, de leur reconnaissance sur le marché économique et la faiblesse du soutien financier accordé par l'état [CARPENTIER, 2001] ; [ONFIELD, 2001].

Les principaux freins au recyclage des déchets de démolition routière sont d'ordre :

- Économique : le surcoût de ces produits, du fait des traitements (ajout d'adjuvants) et du transport, les rend peu concurrentiels par rapport aux produits déjà proposés. Les filières de transformation presque inexistantes et le manque de débouchés ajoutent à la difficulté d'introduire de nouvelles fabrications ;
- Réglementaire : les contrôles imposés sur les produits recyclés découragent les concepteurs et conduisent à une surqualification des matériaux. Par ailleurs, l'absence de normes ou recommandations d'utilisation est préjudiciable à leur développement. La suspicion plane toujours sur ces produits ;
- Juridique : les notions de propriété et responsabilité restent imprécises. Les professionnels souhaitent une meilleure définition de leur responsabilité.

Quelques règles de base sont nécessaires pour la valorisation d'un déchet sur le marché des travaux publics [MEHU, 1999] :

- Pour qu'un déchet ait une chance d'être valorisé, il faut qu'il puisse se substituer à un matériau déjà utilisé (sable, granulat, filler), tout en respectant les prescriptions techniques de celui-ci ;
- Pour obtenir la régularité qualitative d'un produit, il est nécessaire que soient développées des filières intermédiaires de pré-traitement, d'homogénéisation et de lissage des caractéristiques ;
- Son coût doit rester inférieur à celui du matériau substitué, et sa disponibilité quantitative géographique au moins équivalente à ce matériau ;

- Il est inconcevable de permettre l'utilisation d'un déchet comme simple diluant dans un ouvrage, sans que ses propriétés intrinsèques participent au cahier des charges ;
- Le surcoût d'une stabilisation de déchet avant stockage en décharge ne confère pas au déchet une valeur d'utilisation en travaux publics ;
- La norme ENV 12-920 (comportement d'un déchet à la lixiviation dans des conditions spécifiées) prend en compte le comportement à long terme des déchets dans un scénario bien défini. Son développement et son intégration progressive dans les réglementations européennes devraient à terme compléter les cahiers de charge pour les aspects environnementaux.

3.2.4 Conclusion

Pour que la valorisation des déchets routiers puisse être effective, les conditions technico-économiques favorables doivent être réunies, grâce à l'implication et à la collaboration des décideurs politiques et de l'industrie privée. Selon le Ministère des Transports des Pays-Bas, des alternatives techniques existent et sont efficaces. Le problème est bien plus une question de budget à allouer à une telle opération [ONFIELD, 2001]. Les nombreuses expériences réussies constituent le meilleur exemple.

La mise en place d'un réel statut juridique applicable aux décharges de classe III, au-delà du seul guide technique (informatif) existant à ce jour, doit contribuer à favoriser le recours au recyclage en France.

En Allemagne et en Suisse, la valeur limite supérieure d'admissibilité des matériaux bitumineux en décharge pour déchets inertes est de 25 mg 16 HAP-EPA/kg. Cette valeur limite maximum est fixée à 20 000 mg 16 HAP-EPA/kg pour un recyclage éventuel, dans des conditions particulières (centrales d'enrobage) [GLET, 2000] [HUGENER, 1999] [OFEFP, 2001]).

3.3 DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX HYDROCARBONES

3.3.1 Définitions générales

3.3.1.1 L'enrobé

L'enrobé est un granulat recouvert de bitume, utilisé dans les revêtements de chaussées. Il peut être constitué d'une ou plusieurs couches de béton bitumineux (mono à tricouche).

3.3.1.2 Le revêtement

Le revêtement consiste en une couche imperméable liée, soit en enrobé bitumineux, soit en béton.

3.3.1.3 Les déchets bitumineux

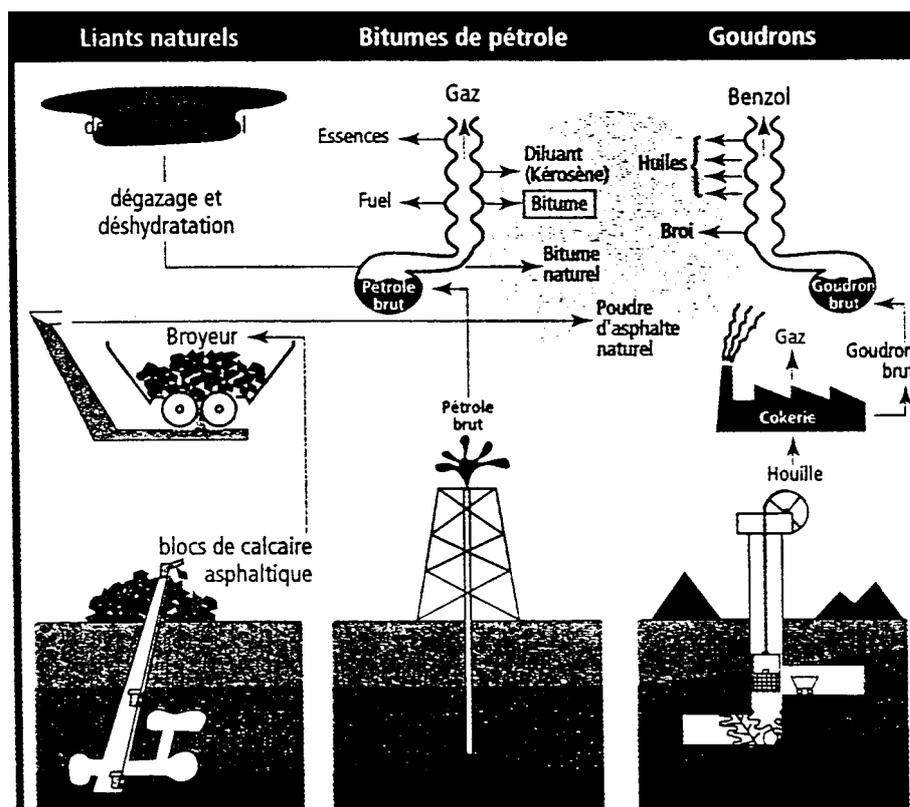
Le terme générique « déchets bitumineux » est consacré pour désigner les déchets de démolition routière parmi lesquels se trouvent des enrobés, revêtements et liants hydrocarbonés, les fraisats et les croûtes.

3.3.1.4 Les liants hydrocarbonés

Ce sont des matériaux constitués essentiellement d'assemblage d'atomes de carbone et d'hydrogène qui, au contact de particules solides telles que les granulats, développent des forces d'adhésion assurant de la sorte une certaine rigidité, des résistances aux déformations en traction, compression et cisaillement [USIRF, 2001].

Il existe trois grandes familles de liants hydrocarbonés : les asphaltes et bitumes naturels, les goudrons, et le bitume de pétrole. Le schéma de la Figure 1 présente la genèse de ces produits hydrocarbonés de base.

Figure 1 : Genèse des produits de base



3.3.2 Nomenclature et caractérisation

3.3.2.1 Les liants de base

Les liants de base, le bitume et les goudrons, peuvent être utilisés tels quels. Ils sont répartis en différentes classes normalisées selon leur consistance [USIRF, 2001].

Le goudron utilisé en techniques routières, dit « goudron pur », est obtenu par distillation du goudron brut issu de la pyrolyse de la houille et reconstitution des différentes fractions, obtenues en pourcentage voulu dans le mélange (brai et huiles). Même si la consistance du brai correspond à celle du bitume et pourrait être utilisé comme liant de base, en pratique il n'est jamais utilisé seul.

Les autres liants dits dérivés sont obtenus à partir d'un des liants de base, d'un mélange des deux, de préparations particulières ou additions de diverses substances. L'addition de fluxants, de fluidifiants ou d'émulsifiant est destinée à abaisser la viscosité pour permettre l'utilisation des mélanges bitumineux à température faible ou modérée.

3.3.2.2 Les « liants composés »

Les liants composés sont des mélanges de liants de base, en différente proportion. La constitution chimique des deux liants de base, bitume et goudron, est différente. Par mélange des deux, on recherche à améliorer le produit final en retrouvant les qualités de chacun d'eux, sans les inconvénients.

La terminologie employée permet de distinguer la composition du mélange. Le premier terme indique le constituant majoritaire : bitume-goudron ou bitume-brai (> 50 % de bitume), ou encore goudron-bitume (teneur de goudron > 50 %).

3.3.2.3 Les liants fluides

La viscosité des bitumes purs est trop importante à température ambiante pour une utilisation immédiate. Pour fluidifier les bitumes, plusieurs méthodes existent :

1. L'élévation de la température jusqu'à 120 °C - 160 °C : c'est la technique des enrobés à chaud ;
2. Mise en émulsion par dispersion fine de bitume dans l'eau ;
3. Fluidification par addition de diluants ou de coupes appropriées provenant de la distillation de la houille ou du pétrole :
 - Les bitumes fluidifiés par un mélange de diluants pétroliers (généralement le pétrole lampant) ;
 - Les bitumes fluxés, amollis par addition d'huile de fluxage de faible volatilité d'origine carbochimique ou pétrolière.

3.3.2.4 Les liants modifiés

Ce sont des liants de base, modifiés par addition d'agents chimiques tels que le caoutchouc naturel, les polymères de synthèse, le soufre, ou encore certains composés organométalliques. Ils peuvent être directement employés ou utilisés en tant que bitumes fluxés ou sous forme d'émulsion.

Parmi les liants-polymères modifiés par un ou plusieurs polymères organiques, on trouve le goudron-vinyle ou le goudron-styrène.

3.3.3 Normalisation

3.3.3.1 Normalisation française

Les normes françaises couvrent de nombreux aspects concernant les goudrons. Le Tableau 1 liste les normes faisant directement référence aux goudrons.

Une autre série de normes fait par ailleurs référence aux techniques routières qui emploient les liants hydrocarbonés :

- assises de chaussées (NF P98-115, 106, 251, 253, 256, 260, 261, 275),
- enrobés hydrocarbonés (NF P98-130 à NF P98-141 et 149 à 151),
- revêtements et enduits (NF P98-160),
- mélanges bitumineux (NF EN 12697 et 13108).

Tableau 1 : Normes en vigueur en France pour liants hydrocarbonés et produits à base de goudron [AFNOR].

NORME	DATE	TITRE
NF T65-000	06/1997	Liants hydrocarbonés – Définition et classification
NF T65-002	12/91	Liants hydrocarbonés – Bitumes fluxés - Spécifications
NF T65-003	12/1997	Liants hydrocarbonés – Bitumes fluidifiés - Spécifications
NF T65-004	12/1997	Liants hydrocarbonés – Bitumes composés - Spécifications
NF T65-021	12/1991	Liants hydrocarbonés – Goudrons purs - Spécifications
NF T65-022	12/1991	Liants hydrocarbonés – Goudrons modifiés - Spécifications
NF T66-010	02/1984	Echantillonnage des liants bitumineux
NF T66-027	01/1996	Liants hydrocarbonés – Goudrons purs – Distillation fractionnée
NF T66-028	12/1997	Liants hydrocarbonés – Détermination de la teneur en goudron, bitumes-goudron et bitumes-brai – Méthode par chromatographie sur gel perméable
NF T66-029	01/1996	Liants hydrocarbonés – Goudrons purs – Détermination de la teneur en naphthalène
NF T66-030	01/1996	Liants hydrocarbonés – Goudrons purs – Détermination de la teneur en anthracène
NF EN 12302	10/2000	Goudrons et benzols bruts - Terminologie
NF EN 12303	10/2000	Huiles de goudron issues du goudron - Terminologie
NF EN 12591	12/99	Bitumes et liants bitumineux – Spécifications des bitumes routiers
Normes en projet		
PR NF ISO 3733	09/01	Produits pétroliers et produits bitumineux – Dosage de l'eau – Méthode par distillation
PR NF EN 14260	12/01	Produits dérivés de la pyrolyse du charbon – Liants à base de goudron et de brai issus de la houille et produits connexes : goudrons routiers – Caractéristiques et méthodes d'essai
PR NF EN 13847	2001	Liants à base de goudron et de brai issus de la houille et produits connexes – Terminologie et classification

3.3.3.2 Normalisation européenne

Seuls les bitumes purs à l'usage routier font l'objet de l'application des nouvelles normes européennes en France depuis le 20 décembre 1999 [USIRF, 2001].

De nouvelles spécifications sont en cours pour :

- Les bitumes fluidifiés et fluxés et les émulsions de bitume ;
- Les enrobés bitumineux ;
- Les enduits superficiels ;
- Les enrobés coulés à froid.

Une nouvelle normalisation européenne est lancée depuis 2000 dans le but de relier les normes au comportement des liants hydrocarbonés dans les revêtements et structures de chaussées, avec l'exigence des performance requises [USIRF, 2001].

3.3.3.3 Cas particuliers

Aucune norme ne couvre l'utilisation des produits spéciaux pour la protection anti-kérosène. Cependant, des informations du Service Technique des Bases Aériennes (STBA) indiquent que la mise en œuvre du goudron s'effectue suivant trois catégories d'application :

- Les enrobés anti-kérosène dans la masse en couche de roulement : bétons hydrocarbonés et enrobés percolés ;
- Les enduits pour traitement de surface (surfaçage) de la couche de roulement en béton bitumineux ;
- Les coulis pour les mêmes utilisations que les enduits.

La formulation **des enrobés** participe à des bétons bitumineux classiques. Elle doit être conforme : soit à la norme NF P98-131 Enrobés hydrocarbonés – Bétons bitumineux pour chaussées aéronautiques (BBA) ; soit aux contraintes spécifiques des aires de stationnement (résistance à l'orniérage et au poinçonnement). Leur particularité dépend du liant à base de goudron ou brai de goudron additionné de brai de pétrole ou d'huiles plastifiantes, et toujours modifié par des polymères de synthèse ou des résines (norme française NF T65-022 Liant hydrocarbonés – goudrons modifiés). Ils sont appliqués généralement en couche de 4 à 8 cm d'épaisseur. Les enrobés percolés sont assimilables à des enrobés drainants ouverts dont les vides (pour une épaisseur de 3 à 4 cm, 18 à 25 % après compactage) sont comblés par un coulis généralement à base de ciment.

Dans la **famille des enduits**, on trouve les enduits à base de liants hydrocarbonés et ceux à base de résines de synthèse. Pour le premier type de produit, le liant est une émulsion à base de goudron modifiée ou non par des polymères de synthèse. D'après des tests en laboratoire du LCPC, il semble que l'efficacité des enduits anti-kérosène dépende plus du dosage des matières premières (goudron ou résine) que de leur nature. Ils sont appliqués généralement en trois couches millimétriques.

Enfin, les liants hydrocarbonés sont également utilisés **dans les coulis**. Le liant est une émulsion à base de goudron ou de brai de houille, modifié ou non par des polymères ou des résines de synthèse. Le coulis est constitué par un mélange de sable concassé, d'eau et d'émulsion. Il peut être complété par du ciment. Ces coulis sont utilisés en monocouche ou en bicouche de 2 à 5 mm chacune.

Pour l'ensemble de ces produits, leur fabrication dans le domaine routier est extrêmement délicate et restreinte, pour des raisons de protection de l'environnement et de Santé Publique.

3.3.3.4 Normalisation pour l'emploi de déchets recyclés

Depuis novembre 1999, les professionnels de l'industrie routière peuvent s'appuyer sur des normes pour utiliser des agrégats recyclés. Ces normes précisent les pourcentages maximum d'agrégats recyclés admis dans les formules des nouveaux produits, sauf spécification particulière dans le marché. La liste de ces nouvelles normes est présentée dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Normes officialisant le recours aux agrégats recyclés [ONFIELD, 2001];[site internet AFNOR].

NORME	DATE	TITRE
NF P98-138	11/99	Les graves-bitume
NF P98-140	11/99	Les enrobés à module élevé
NF P98-130	11/99	Les bétons bitumineux
NF P98-141	11/99	Les bétons bitumineux à module élevé
NF P98-132	06/00	Les enrobés minces

3.3.4 Conclusion

Le goudron participe à l'élaboration d'enrobés en tant que brai de houille, résidu non volatil, et de liants hydrocarbonés en tant qu'huiles au caractère volatil. La fabrication des produits hydrocarbonés introduit également de nombreux autres constituants principalement d'origine pétrochimique. La nomenclature définit les appellations : l'enrobé contenant majoritairement du goudron correspond à du goudron-bitume, sinon il s'agit de bitume-goudron.

La normalisation française et européenne régit les formulations des enrobés, liants, excepté celles des produits spéciaux tels que les enrobés anti-kérosène. Trop peu de normes françaises prennent en compte l'utilisation des matériaux recyclés.

La définition de nouvelles normes de spécifications concernant les produits issus du recyclage, plus tolérantes et néanmoins garantes de la pérennité des ouvrages et du respect de l'environnement, permettrait de trouver des créneaux et d'autoriser leur emploi sans risque. Les granulats issus du recyclage autorisent une véritable alternative technique et économique [MICHEL, 2000].

3.4 CARACTERISATION DES GOUDRONS

Les goudrons ont été utilisés pendant des décennies en mélange avec du bitume dans les revêtements routiers. Les goudrons, au contraire du bitume, contiennent des quantités importantes de substances toxiques, principalement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des phénols.

3.4.1 Les goudrons

3.4.1.1 Origine

Les goudrons proviennent de la pyrogénéation à l'abri de l'air de matières d'origine végétale, telles que la 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 ».

Les goudrons d'origine végétale présentent une constitution chimique assez différente de celle des bitumes d'origine animale.

D'autres provenances du goudron sont plus hétéroclites :

- Produit de fabrication à partir du recyclage de la « poudrette », sous-produit du rechapage ou obtenue par broyage du pneu entier (source ADEME Lorraine) ;
- Résidu de polymérisation dû au craquage des huiles usées à haute température.

3.4.1.2 Le goudron de houille

Le goudron de houille ou coaltar est obtenu par pyrolyse de la houille à des températures allant de 400 °C à 1 200 °C dans les cokeries et les usines à gaz. Ils sont noirs, visqueux, liquides ou pâteux. Les goudrons bruts obtenus renferment des huiles dites légères (2-8 %), des huiles lourdes (5-10 %), de la créosote (30-50 %) et enfin, après la séparation par distillation fractionnée de ces derniers, le résidu appelé brai (20-60 %). L'annexe D présente les différents procédés de distillation du goudron de houille [GOSSELIN, 2000].

Le goudron de houille est un mélange complexe composé presque exclusivement de composés aromatiques (95%) [GLET, 2000]. 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 [GOSSELIN, 2000].

Le nombre total de constituants est estimé à 10 000, mais dans des proportions très variables ; seulement 400 d'entre eux ont été identifiés [TROSSET *et al*, 1978 ; McNEIL, 1983 *in* IARC, 1985]. Les teneurs moyennes des constituants principaux sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Teneurs moyennes des constituants principaux du goudron [GOSSELIN, 2000]

Hydrocarbures :		
Naphtalène	C 10 H 8	10,0 %
phénanthrène	C 14 H 10	4,5 %
fluoranthène	C 16 H 11	3,0 %
Acénaphtylène	C 12 H 8	2,5 %
Pyrène	C 16 H 10	2,0 %
fluorène	C 13 H 10	1,8 %
2-méthylnaphtalène	C 11 H 10	1,5 %
anthracène	C 14 H 10	1,3 %
chrysène	C 18 H 12	1,0 %
indène	C 9 H 8	1,0 %
Hétérocycles :		
dibenzofurane	C 12 H 8 O	1,3 %
carbazole	C 12 H 9 N	0,9 %
thionaphtène	C 8 H 6 S	0,3 %
quinoléine	C 9 H 7 N	0,3 %
indole	C 8 H 7 N	0,2 %
Composés phénoliques :		
phénol	C 6 H 6 O	0,7 %
m-crésol	C 7 H 8 O	0,4 %
p-crésol	C 7 H 8 O	0,2 %
o-crésol	C 7 H 8 O	0,2 %
diméthylphénols	C 8 H 10 O	0,4 %

Nota : les pourcentages indiqués sont des pourcentages massiques.

Les composés aromatiques constituent de 30 à 50 % du goudron. Leurs proportions augmentent avec la température, alors que les composés de paraffines et phénols décroissent, indépendamment du matériau de départ [McNEIL, 1983 *in* IARC, 1985] [KLEFFNER *et al.*, 1981 *in* IARC, 1985].

3.4.1.3 Le brai de goudron ou brai de houille

C'est la fraction non volatile du goudron de houille qui reste en fond de colonne après avoir vaporisé toutes les huiles contenues dans le goudron. En masse, il représente 20 à 60 % du goudron. Le brai est composé du mélange d'un grand nombre de molécules aromatiques polycycliques dont les principales sont : dihydro-naphtalène, chrysène, pyrène, triphénylène, benzofluoranthènes, benzopyrènes, pérylène, picène, 1,12-benzopérylène, coronène [GOSSELIN, 2000].

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 à 100 °C ; il devient fluide et pompable à une température supérieure ou égale à 150 °C. Il peut être assimilé à une résine thermofusible dont les propriétés sont particulièrement bien adaptées pour en faire un liant dans la préparation des matériaux carbonés [GOSSELIN, 2000].

L'élaboration du brai peut se faire en une ou deux étapes :

- En une étape : on l'obtient directement en fraction résiduelle de la distillation du goudron brut ;
- En deux étapes : le brai obtenu à la distillation primaire est soumis à un traitement thermique complémentaire dans un réacteur continu aux environs de 380 °C. Ce traitement permet d'augmenter la teneur en résines par des réactions de condensation d'une partie des molécules contenues dans le brai.

Le brai est employé comme liant dans les revêtements routiers ou dans la fabrication d'électrodes pour l'électrolyse industrielle. Grâce à ses propriétés d'étanchéité, il entre dans la formation de liquides ou de résines pour la protection des ouvrages (bâtiments, etc.).

3.4.1.4 Pratiques et prévention

La technique à chaud est la plus répandue pour mettre en œuvre les goudrons et bitumes. En effet, ces produits doivent être chauffés pour atteindre la viscosité nécessaire à leur mise en œuvre en technique routière : épandage, émulsion, etc.

Les propriétés physico-chimiques des HAP recherchées telle leur plasticité à chaud sont corrélées avec leur capacité à devenir volatils et mobilisables. Les travaux de goudronnage étaient particulièrement repérables par les fumées nauséabondes qui se dégageaient de la route. Les personnes en contact ou proche des machines étaient ainsi fortement exposées.

Pour des raisons de Santé Publique, les enrobés actuels ne devraient plus contenir de goudron ou dans des conditions réglementaires spécifiques. Des recommandations internes circuleraient dans les entreprises de l'industrie routière française sur l'emploi modéré des composés du goudron : une teneur en HAP de 50 mg/kg serait de rigueur dans les liants hydrocarbonés fluxés.

Cette information serait peut-être à corrélérer avec la directive n° 94/60/CE qui modifie la directive n° 76/769/CEE. Elle harmonise l'emploi et la mise sur le marché de la créosote et de distillats de goudron de houille similaires, ainsi que des préparations contenant ces substances, en limitant leur concentration en benzo[a]pyrène, et en phénols. Dans ce cadre, la concentration maximale en B[a]P est également fixée à 50 mg/kg.

Pour réduire encore les émanations toxiques en cours de travaux, des liants et procédés sont mis au point pour préserver la santé des travailleurs tout en s'attachant à respecter les exigences de performance : liants fluides et modifiés, techniques d'application à froid [ONFIELD, 2001].

3.4.2 Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Du fait de la composition des goudrons (Tableau 3), cette étude ne prend en compte que le potentiel polluant lié aux HAP, éléments majeurs de ces matériaux.

Les HAP sont constitués d'au moins deux cycles aromatiques fusionnés. Le nombre de HAP identifié est de l'ordre de 100. Parmi ceux-ci, une liste restreinte (6 à 16) est généralement considérée lors des études environnementales. Cette liste contient à la fois les HAP les plus fréquents, et ceux posant les problèmes environnementaux les plus graves du fait de leur toxicité. Parmi les 16 HAP que l'on retrouve le plus souvent, l'acénaphthylène est généralement exclu pour des raisons analytiques (15 autres HAP détectés par fluorescence : bonne limite de détection ; acénaphthylène détecté par spectrométrie UV : moins bonne limite de détection). Par commodité, ces HAP seront notés 15 ou 16 HAP-EPA dans la suite du texte.

Les tableaux 4 et 5 présentent respectivement les listes des HAP retenus par l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (US EPA), et l'Union Européenne (directives du Conseil des Communautés Européennes et décret n° 89-3 pour la production d'eau potable).

Tableau 4 : Liste des 16 HAP considérés par l'US EPA

Nom	Nombre de cycles	Formule chimique
Naphtalène	2	C ₁₀ H ₈
Acénaphthylène	3	C ₁₂ H ₈
Acénaphthène		C ₁₂ H ₁₀
Fluorène		C ₁₃ H ₁₀
Anthracène		C ₁₄ H ₁₀
Phénanthrène		C ₁₄ H ₁₀
Fluoranthène	4	C ₁₆ H ₁₀
Pyrène		C ₁₆ H ₁₀
Benzo(a)anthracène		C ₁₈ H ₁₂
Chrysène		C ₁₈ H ₁₂
Benzo(a)pyrène	5	C ₂₀ H ₁₂
Benzo(b)fluoranthène		C ₂₀ H ₁₂
Dibenzo(ah)anthracène		C ₂₂ H ₁₄
Benzo(k)fluoranthène		C ₂₀ H ₁₂
Benzo(ghi)pérylène	6	C ₂₀ H ₁₂
Indeno(1,2,3-cd)pyrène		C ₂₂ H ₁₂

Tableau 5 : Liste des 6 HAP considérés par l'OMS (directives du Conseil des Communautés Européennes et décret n° 89-3 pour la production d'eau potable)

Nom	Nombre de cycles	Formule chimique
Fluoranthène	4	C ₁₆ H ₁₀
Benzo(a)pyrène	5	C ₂₀ H ₁₂
Benzo(b)fluoranthène		C ₂₀ H ₁₂
Benzo(k)fluoranthène		C ₂₀ H ₁₂
Benzo(ghi)pérylène	6	C ₂₀ H ₁₂
Indeno(1,2,3-cd)pyrène		C ₂₂ H ₁₂

3.4.3 Danger pour la santé publique

Concernant les substances cancérigènes, l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US EPA), le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC/IARC) et l'Union Européenne (UE) ont défini un système de classification des substances en fonction de la plausibilité de leur potentiel de cancérogénicité. Certaines des substances étudiées ont été évaluées par ces organismes, pour leur éventuel pouvoir cancérigène chez l'homme. Le tableau 6 présente la classification des substances (la signification des classes est mentionnée dans l'annexe J).

Tableau 6 : Classification des substances

Substances	UE	CIRC/IARC	US EPA
naphtalène		(en cours de réévaluation)	C
acénaphène			(en cours de classement)
fluorène		3	D
phénanthrène		3	D
anthracène		3	D
fluoranthène		3	D
pyrène		3	D
benzo(a)anthracène		2A	B2
chrysène	Cat 2	3	B2
benzo(b)fluoranthène	Cat 2	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	Cat 2	2B	B2
benzo(a)pyrène		2A	B2
dibenzo(a,h)anthracène	Cat 2	2A	B2
benzo(g,h,i)pérylène		3	D
indéno(1.2.3-cd)pyrène	Cat 2	2B	B2
acénaphthylène			D

Parmi les 16 HAP de la liste de l'US EPA, six sont classés par le Centre International de Recherche sur le Cancer (IARC, 1983) comme des cancérigènes probables pour l'homme (groupe 2A : Benzo(a)pyrène, Benzo(a)anthracène, Dibenzo(a,h)anthracène) ou comme des cancérigènes possibles pour l'homme (groupe 2B : Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Indéno(c,d)pyrène). Les autres HAP de la liste ne sont pas classifiés (groupe 3) ou n'ont pas été évalués.

3.4.3.1 Effets cancérigènes

Les effets génotoxiques des HAP présents dans les goudrons ont été largement étudiés. Les premières observations de toxicité ont été rapportées par Pott (1775) à propos de cancers de la peau des ramoneurs de cheminées. Le pouvoir cancérigène des produits de pyrolyse (goudrons, suies) a été reconnu, suite au développement de l'utilisation du charbon.

Ces produits ont des températures d'ébullition supérieures à 400 °C, et les risques ne sont effectifs que dans des conditions particulières d'utilisation [GOSSELIN, 2000]. Cependant, des études ont montré que les émanations de HAP s'échappaient du goudron chaud à des températures bien inférieures à celle de l'ébullition totale du produit [IARC, 1985] [GLET, 2000]. Cette vaporisation différentielle est d'ailleurs bien connue puisqu'elle est exploitée pour séparer les vapeurs d'huiles, du brai résiduel en cours de distillation, comme le montre le Tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques des huiles extraites à la colonne [GOSSELIN, 2000]

Fraction	Température d'ébullition (°C)	Fraction du goudron (indicatif) (%)
Huile légère (benzol)	80 – 160	1,5
Huile phénolique	160 – 210	4
Huile naphthalénique	210 – 240	12,5
Huile acénaphène	240 – 300	9
Huile anthracénique	290 – 360	12
Huile chrysène	320 – 400	12

L'agence Américaine de Protection de l'Environnement (US EPA, 1998) propose pour le benzo(a)pyrène un excès de risque unitaire vie-entière pour la voie orale ou *oral slope factor* (*Sfo*) égal à $7,3 \text{ (mg/kg.j)}^{-1}$. L'US EPA dans sa base de données IRIS ne propose pas d'excès de risque unitaire par inhalation pour le BaP.

L'Organisation Mondiale de la Santé – OMS (WHO, 1987, 1998) mentionne un excès de risque unitaire vie entière pour la voie inhalation de $8.7 \cdot 10^{-5} \text{ (ng/m}^3\text{)}^{-1}$.

L'US EPA ne propose pas d'excès de risque unitaire pour les autres HAP cancérigènes retenus dans cette étude. Leur risque cancérigène peut être évalué à partir de la notion de facteur d'équivalence toxique (FET) ou de potentiel relatif d'une substance par rapport à une autre (en référence à celui du benzo(a)pyrène fixé par convention à 1).

Différents facteurs d'équivalence toxique sont décrits dans la littérature, par l'US EPA (1993 et cité par l'ATSDR, 1997), par Hempfling (1997), par Baars (2000), par Nisbet et Lagoy (1992), par l'OMS (WHO, 1998).

3.4.3.2 Effets non cancérigènes

Des études expérimentales concernant les HAP ont permis également de mettre en évidence des effets chroniques non cancérigènes chez les animaux de laboratoires. A partir de ces études, l'US EPA propose des doses et des concentrations de référence pour les expositions chroniques pour certains des 16 HAP (voir Annexe J).

3.4.3.3 Valeurs d'exposition professionnelles

L'objectif en matière de prévention ne peut être que l'exposition au niveau le plus bas possible [INRS, 1997]. Le B[a]P a été choisi comme traceur dans les atmosphères de condition de travail :

- En Allemagne, des valeurs moyennes supposant une exposition de 8h/j et de 40h/sem (TRK) ont été établies pour servir de guide à la prévention : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la production, le chargement et le déchargement d'électrodes au voisinage des fours à coke ; $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les autres cas ;
- En France, la CNAM (Caisse nationale d'assurance maladie) recommande comme objectif provisoire de maintenir une teneur inférieure à $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Aux Etats-Unis, l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration violations) recommande des limites d'exposition pour plus de 10 heures de travail à raison de 40 heures par semaine. Les valeurs limites concernant l'anthracène, le benzo[a]pyrène, le chrysène, le phénanthrène et le pyrène sont fixées à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour chacun des composants. La valeur limite d'exposition pour le naphthalène est de 10 ppm, soit $57,22 \text{ mg}/\text{m}^3$ ($10 \times 128,17$ (masse molaire)/22,4) [NIOSH, 1998]

3.4.4 Dangers pour l'environnement

Le devenir des HAP dans l'environnement est influencé par :

- Leur volatilisation et leur transformation en dérivés dans l'atmosphère ;
- Leur transport, tributaire des facteurs de ségrégation tels que des mobilités différentes liées aux solubilités variables de ces composés, et des caractéristiques intrinsèques du sol ;
- Leur adsorption sur des particules de matière organique ou par des plantes ;
- Leur bio-accumulation ;
- Leur dégradation microbiologique ;
- Leurs caractéristiques physico-chimiques [GUERIN, 2000].

3.4.4.1 Pollution atmosphérique

La mobilisation des HAP contenus dans les enrobés en cours de travaux routiers n'est pas la seule cause de pollution atmosphérique dues aux goudrons. En effet, des études ont mis en évidence les émanations de HAP provenant de l'usure des pneumatiques et des surfaces de route goudronnée et des ralentisseurs de vitesse.

La magnitude de ces relargages est difficile à quantifier. Cependant, une publication suédoise fait mention d'émissions « importantes » de HAP depuis ces sources abrasées [AHLBOM, 1994]. Ces estimations sont discutées par Baumann et Ismeier [BAUMANN, 1997]. Les principaux HAP provenant des pneumatiques ont été identifiés par Larnesjo : fluoranthène, pyrène, benzo(g,h,i)pérylène et coronène. Les composés HAP contenus dans les pneumatiques varient selon les fabricants et l'année de production [LARNESJO, 1999].

Une directive européenne est en cours de rédaction pour limiter la teneur en benzo[a]pyrène dans l'air ambiant. Actuellement, la décision n° 2000/479/CE concernant la création d'un registre européen des émissions de polluants (EPER), liste les polluants à déclarer en cas de dépassement de valeur seuil. Pour les HAP, cette valeur est de 50 kg/an dans l'air, et de 5 kg/an dans l'eau.

Aucune étude n'a encore été réalisée sur la toxicité de la poussière dégagée lors des travaux de démolition des chaussées aux enrobés contenant du goudron, et des risques encourus par les ouvriers du chantier.

3.4.4.2 Pollution sol-eau

La solubilité n'est pas le seul critère qui détermine le relargage dans l'environnement des HAP contenus dans les goudrons. Les altérations mécaniques peuvent également faciliter leur mobilisation. Les eaux de ruissellement peuvent mobiliser les HAP par le lessivage des revêtements routiers. Elles peuvent également emporter les particules atmosphériques chargées d'HAP déposées au sol.

Hugener, Deschwanden et Bühler contestent l'importance du relargage par lessivage des revêtements dont l'appréciation aurait été exagérée. En effet, le liant et les HAP eux-mêmes sont faiblement solubles dans l'eau [HUGENER, 1999]. Pourtant, des essais de percolation effectués sur des enrobés bitumineux concassés mettent en évidence un relargage significatif des HAP dans les premiers percolats [PEPIN, 1998].

La structure des enrobés à faible porosité retient les HAP mais toute atteinte à cette intégrité (fissurations, concassage) facilite le lessivage effectif des polluants. L'étanchéité des routes ou autres voies est assurée à l'aide d'enduits superficiels à base de goudron ; cependant, ces derniers sont renouvelés régulièrement du fait de l'usure mécanique.

La directive européenne n° 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixe, parmi de nombreux paramètres, un seuil de potabilité de 0,10 µg/l pour la somme de quatre HAP¹. Le décret français du 3 janvier 1989 a fixé le seuil de potabilité de l'eau à 0,2 µg/l pour la somme de six substances² HAP.

Deux études réalisées sur des bitumes et enrobés ont démontré combien il est difficile de déterminer sans analyse spécifique la composition réelle des matériaux bitumineux et leur teneur en HAP. La première étude de lixiviation sur divers bitumes et un enrobé constitué d'un de ces bitumes a montré que les valeurs maximales des concentrations des 16 HAP-EPA restaient très en dessous des seuils établis pour les eaux de surface et les eaux potables par la CEE [BOWEN C. *et al.*, 2000]. La seconde étude de percolation sur des enrobés bitumineux, indique des quantités extraites comprises entre 10,2 et 36,6 mg 15 HAP-EPA/kg [PEPIN, 1998]. Ces valeurs dépassent les seuils d'acceptabilité pour le stockage en CET de classe III.

Pour la gestion des sites et sols pollués, les valeurs de constat d'impact (VCI) de pollution retenues pour les HAP dans les sols ne sont plus exprimées sous forme de HAP totaux depuis septembre 2001.

¹ Les quatre composés spécifiés sont les suivants : benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène et indéno(1,2,3-cd)pyrène [Directive 98/83/CE, 1998].

² Les six substances sont les suivantes : benzo(3,4)fluoranthène, benzo(11,12)fluoranthène, benzo(1,12)pérylène, benzo(3,4)pérylène, fluoranthène et indéno(1,2,3-cd)pyrène (décret du 3 janvier 1989, annexe 1-1 et 1-3).

Depuis, il est nécessaire d'utiliser les valeurs françaises¹, substance par substance (Annexe J).

3.4.5 Conclusion

Le goudron de houille provient de la pyrogénéation à l'abri de l'air de matières d'origine végétale telle que la houille. Sa composition complexe laisse apparaître de très fortes teneurs en HAP (de 20 à 50 %).

L'impact sur l'environnement est tributaire des propriétés physico-chimiques des HAP considérés, de l'abrasion des revêtements superficiels enduits de goudron et du lessivage des goudrons pris dans la masse des enrobés. Cet impact est non négligeable, mais peut être ralenti par la faible solubilité des liants hydrocarbonés et des HAP dans l'eau, mais également par la structure fermée à faible porosité des chaussées.

3.5 HISTORIQUE DE L'USAGE DU GOUDRON EN TECHNIQUE ROUTIERE

3.5.1 Premières applications des liants hydrocarbonés pour les revêtements routiers

3.5.1.1 L'asphalte

A partir de 1802, le comte de Sassenay étudie et commercialise du « mastic d'asphalte » pour le revêtement de planchers, ponts, sentiers piéton et pour l'étanchéité. A la fin du XIX^e siècle, près de 100 km de trottoirs parisiens et de nombreuses rues sont asphaltées.

3.5.1.2 Le goudron

Dès le début du XIX^e siècle, la production de goudron prend de l'ampleur parallèlement au développement des usines à gaz. En 1854, Francou utilise du goudron d'usine à gaz pour revêtir les chaussées. L'épandage est effectué à froid avec un goudron fluide que l'on enflamme ensuite. Le premier « enrobé à chaud » recouvre la rue du Louvre et l'avenue Victoria à Paris en 1900. En 1901, 20 000 m² de rues sont goudronnées à Paris, 360 000m² trois ans plus tard.

3.5.1.3 Le bitume

En 1848, le bitume de pétrole apparaît avec le premier puits de pétrole à Titusville dans l'état de Pennsylvanie. Tardy utilise en 1896 « l'huile de naphte ou mazout » à Oran pour couvrir les chaussées.

En 1903 apparaît le terme d'émulsion : les huiles lourdes de pétrole sont émulsionnées et saponifiées avec de l'eau ammoniacale et l'application est immédiate (80 km en Ardennes). Les brevets ne sont pris qu'en 1924 au Royaume-Uni. Des émulsions de bitume sont utilisées en 1923 aux Etats-Unis, et en 1924 en France. La production de béton bitumineux routier commence en France à partir de 1929.

3.5.2 Développement du réseau routier français

En 1862, le moteur à explosion est inventé. Les véhicules soulèvent beaucoup de poussière à leur passage et le goudronnage est demandé dès 1901 pour s'en protéger.

¹ Les VCI concernent les huit HAP suivants : anthracène, benzo(a)anthracène, benzo(k)fluoranthène, chrysène, naphthalène, benzo(a)pyrène, fluoranthène et indéno(1,2,3)pyrène.

L'administration reste réticente du fait des coûts engendrés. En 1906 sur les trente-huit mille kilomètres de routes nationales seulement un peu plus de deux mille sont pavées. On observe ainsi le développement concomitant de la circulation automobile, du kilométrage de routes revêtues et de la consommation de liants hydrocarbonés. Le Tableau 9 illustre cette évolution.

Tableau9: Consommations de goudron en technique routière [USIRF, 2001].

Année	Nombre d'auto-mobilistes	Longueur de routes revêtues (km)	Consommation (routière) de liants	
			Goudron (t)	Bitume (t)
1894	200	--		
1895	500	--		
1897	1 200	--		
1900	3 000	--		
1905	21 000	--		
1910	54 000	--		
1914	108 000	--	3 000	
1918	95 000	--	2 000	
1919	160 000	340	25 000	
1924	603 000	11 000	80 000	3 000
1928	1 150 000	23 000	120 000	80 000
1939	2 000 000	350 000	650 000	250 000
1946	1 500 000	350 000	600 000	285 000

Entre les deux guerres, il est reconnu que le goudronnage est non seulement efficace pour combattre la poussière, protège les empièvements de la dislocation par les véhicules, et donc économiquement rentable. Une circulaire de 1919 autorise le paiement sur les crédits d'entretien, et l'utilisation des liant hydrocarbonés non seulement en couche superficielle mais aussi comme liant des granulats dans le corps des chaussées. Les emplois de brais, de bitumes et d'asphaltes sont aussi autorisés. Le goudronnage se développe grâce à l'amélioration des techniques d'épandage et de stockage du goudron.

Les routes nationales sont traitées en priorité. En 1930, alors que la population française est devenue en majorité urbaine, l'État prend à sa charge l'entretien de quarante mille kilomètres de routes départementales et de chemins de grande communication dégradés par la circulation automobile. Le goudronnage des traverses d'agglomération est à la charge des villes et communes. En 1931 il est décidé d'élargir à neuf mètres les cinq cents kilomètres des routes nationales les plus fréquentées (sorties de grandes villes). En 1932, cent mille kilomètres de chaussées sont traités, dont certaines petites routes départementales.

3.5.3 Évolution de l'utilisation des liants hydrocarbonés (goudron/bitume)

Jusqu'à la seconde guerre mondiale, le goudron est resté très majoritaire. Les enduits superficiels étaient la technique reine. Les enrobés étaient appelés à l'époque les agglomérés et coûtaient 10 à 20 fois le prix des enduits superficiels en 1928. Une politique de revêtement économique fut décidée pour permettre de revêtir rapidement l'ensemble du réseau.

Après la Seconde Guerre Mondiale, la tendance se renverse : la montée en puissance de l'industrie pétrolière, la substitution du gaz naturel au gaz d'éclairage issu de la distillation de la houille entraînent le développement de la consommation du bitume et le déclin inexorable du goudron. La mécanisation dans les chantiers routiers accélère la réalisation des revêtements.

En 1955, la loi relative au statut des autoroutes est promulguée. Des déviations de villes sont construites à partir de 1958. En 1960, alors qu'il y a six millions de voitures en circulation, le premier plan directeur du réseau routier et autoroutier est adopté pour quinze ans. Pour faire face au développement rapide du trafic routier, le ministère chargé des routes devient en 1966 le Ministère de l'Équipement chargé de l'Urbanisme, du Logement et des Transports.

Dans les années 1970, la technique des couches de roulement des chaussées évolue : on assiste au développement des bitumes-goudrons et la mise au point du bitume-brai pour l'enrobage (Syndicat Professionnel de l'Industrie des Dérivés de la houille). L'importation de bitume s'impose tandis que le goudron des cokeries sert surtout à la fabrication d'électrodes en carbone. Depuis les années 80, certains polymères sont employés comme liants routiers (le premier goudron-vyniles date de 1966).

3.5.4 Conclusion

Le goudron de houille a constitué une matière première de qualité, très recherchée pour la confection des routes en France. Il a été une découverte majeure pour l'élaboration et le développement des pratiques et infrastructures routières.

Son utilisation s'est généralisée dans la première moitié du XX^e siècle. Son déclin est dû aux découvertes de substituts d'origine pétrolière.

3.6 SITUATION ACTUELLE DU RESEAU ROUTIER FRANÇAIS

3.6.1 Présence du goudron dans le réseau routier français

Depuis le XX^e siècle, le goudron a été systématiquement utilisé quel que soit le type de chaussée en France. Ses caractéristiques techniques (adhésivité, cohésion, visco-élasticité) et ses propriétés anti-kérosène et de résistance aux solvants lui ont assuré un succès prolongé jusqu'à aujourd'hui.

Le goudron était préféré plus généralement en brai dans les enrobés de voies à fort trafic (Routes nationales et départementales), et comme liant dans les enduits superficiels pour les revêtements anti-poussières et étanches des autres voies (Routes départementales, communales, vicinales, les voies traversant les communes et les chemins privés, agricoles ou forestiers). Cet énoncé n'a cependant pas valeur de principe immuable, les pratiques, l'importance de la circulation et les priorités du développement routier évoluant.

Il n'existe aucun historique sur la création et l'entretien des infrastructures routières : aucun suivi des travaux et encore moins des procédés et matériaux utilisés. Il n'y a aucune traçabilité effective autre que la mémoire des techniciens de l'époque.

Au sein des Directions Départementales de l'Équipement (DDE), il existait des registres de la répartition et du suivi des budgets alloués aux travaux publics avec description sommaire des travaux routiers réalisés. Ces cahiers ont disparu avec l'informatisation et aucun archivage systématique n'a été réalisé.

D'anciennes brochures informatives de fabricants (la plus récente détenue date des années 1980) décrivent des produits à base de goudron :

- brai mou comme protection anti-kérosène pour enrobés bitumineux ;
- brai pour imprégnation des revêtements (jusqu'à 50 % du poids) ;
- goudron pour étanchéité des macadam à l'eau ou traité ;
- goudron comme enduit superficiel.

Par ailleurs, certains professionnels ont confirmé l'utilisation ancienne de formules d'enrobés contenant jusqu'à 20 % de goudron, d'autres contenant 18 % de brai de goudron, ou encore des enduits au liant bitumineux mélangé jusqu'à 40 % de goudron en pulvérisation de 1,5 à 1,7 kg de liant au m² avant le gravillonnage.

Le coût et l'approvisionnement des matières premières (goudron) variant avec la proximité des zones productives (bassin houiller), on peut parler d'un régionalisme dans l'utilisation plus ou moins prolongée et intensive du goudron.

A l'exemple d'un calcul réalisé en Suisse [HUGENER, 1999], une estimation grossière des quantités d'enrobés contenant du goudron peut être faite à partir des statistiques sur la consommation des liants à base de goudron fabriqués en France. Le Tableau indique une consommation routière de liant à base de goudron de 1 480 000 tonnes entre 1914 et 1946. Cette quantité, transposée en terme de revêtement à base de goudron-bitume, d'imprégnation et d'enduits superficiels, représente une route d'une longueur de 33 300 kilomètres.

Une partie de ces matériaux se trouvent déjà abandonnée en décharge ou plus généralement réutilisée. Une quantité conséquente est toujours en place compte tenu :

- de l'utilisation prolongée et intensive de goudron jusque dans les années 70,
- de la durée de vie des couches inférieures,
- de la faible fréquence de réfection structurelle des routes.

3.6.2 Répartition géographique des revêtements goudronnés

3.6.2.1 Dans le réseau routier français

La nature, la répartition et le nombre des infrastructures routières pour le réseau français sont présentés en **annexe E**.

3.6.2.2 Cas des applications spécifiques

Le goudron possède des propriétés de résistance aux solvants pétroliers (carburants et huiles). Il s'impose ainsi dans les revêtements de sites particuliers :

- Les parkings et voies d'accès d'avions des aéroports, aérodromes et des bases aéronavales et militaires ;
- Les gares de fret des aéroports ;
- Les parkings d'engins agricoles ou de poids-lourds ;
- Les gares routières ;
- Les aires de stations-service ;
- Les revêtements de sols industriels, en particulier des sites pétrochimiques ;

- Les parkings d'autoroutes ;
- Divers parkings et voies d'accès d'ensembles d'habitations, de grandes surfaces commerciales, de restaurants, d'hôtelleries ou d'immeubles d'organismes internationaux, pour des raisons d'esthétique et d'entretien ;

3.6.3 Réfection des routes en France

Sur les quelques 37 000 km de routes nationale et autoroutes qui constituent le réseau routier « national », on évalue la durée de vie d'une route à 6-10 ans pour le revêtement de surface et à 20-30 ans pour la structure interne, sans entretien régulier. Les investissements de ces dernières décennies ont été largement consacrés au développement du réseau routier au détriment de la maintenance des infrastructures.

Un suivi qualitatif des routes permet de contrôler régulièrement l'état des routes. Depuis 1992, l'ensemble des travaux de surveillance réalisés sur le réseau routier français est consigné dans le fichier IQRN (Image Qualité de l'ensemble du Réseau National). Celui-ci donne une appréciation visuelle sur l'état de dégradation des routes. A la notation limite de 13, une réfection est planifiée. Un fichier similaire existe pour les ouvrages d'art : Image Qualité des Ouvrages d'Art (IQOA).

Le ministère de l'Équipement a fourni le résultat des dernières campagnes d'évaluation de l'état des chaussées et ouvrages d'art. L'IQRN de 1997 montre qu'environ 11% des routes françaises (tous les types de routes confondus) est de mauvaise qualité, et environ 7 % de qualité médiocre. L'IQOA de 1998 indique que 13 % des ouvrages sont altérés à très altérés et 26 % nécessitent un entretien spécialisé urgent pour prévenir des désordres de la structure (cf. **annexe F**).

Ces résultats permettent de réaliser :

1. Le retard pris sur l'assainissement des routes en général (attente d'une dégradation affirmée avant d'entreprendre un entretien) ;
2. L'importance du volume des matériaux bitumineux contenant du goudron encore en place, qui apparaîtra au cours de la réfection approfondie de ces kilomètres de routes défectueuses.

Les travaux d'entretien des routes « attaquent » rarement la structure profonde d'une chaussée. En effet, le dimensionnement des routes françaises est prévue pour un usage continu de trente ans (durée de vie théorique). Si la capacité résiduelle de la route est toujours effective, elle est cependant régulièrement refaite pour des raisons de sécurité et d'adhérence dues à l'usure.

La réfection commence par un rabotage (ou dégrappage) des couches de surface (maximum de 10 cm). Les matériaux bitumineux qui en résultent sont : soit recyclés, soit mis en CET de classe III. Dans la phase de re-construction, des huiles de goudron peuvent être utilisées comme fluxant dans l'émulsion d'épandage, favorisant l'adhésion d'une nouvelle couche d'enrobé (recharge de la chaussée). L'**annexe G** présente une des techniques les plus employées pour la réfection des routes : le « goudronnage ».

Actuellement, les travaux d'importance sur les routes se limitent essentiellement à la rectification de virages, l'écêtement de sommets, l'aménagement de carrefours, ou encore des travaux de calibrage (augmentation de la largeur de la chaussée par la démolition des rives. Leur nombre est limité annuellement et réparti sur toute la France.

3.6.4 Devenir des déchets de construction routière

Jusqu'en 1975, l'entrepreneur en charge d'un chantier routier avait la charge de gérer les rebuts de construction routière en accord avec le maître d'ouvrage. Les matériaux contaminés par du goudron, une fois retirés du réseau routier, pouvaient être réutilisés sur des chemins publics (chemins forestiers) ou privés, réintégrés dans le chantier comme remblais de ré-accotement, ou encore déposés en décharge selon l'opportunité du moment.

La réglementation actuelle relative à l'élimination des déchets et la récupération des matériaux indique que tout producteur ou détenteur de déchets est responsable de l'élimination finale de ses déchets, dans des conditions non nocives pour l'environnement et la santé publique, de la collecte au traitement avec ou sans valorisation (article 2 de la loi n°75-633, modifiée par les lois du 13 juillet 1992 et du 2 février 1995).

Les pratiques d'élimination en cours dépendent encore de la bonne volonté des entrepreneurs et des moyens mis en œuvre à proximité pour stocker ou valoriser les déchets routiers. Les déchets de démolition routière se retrouvent souvent en décharge assimilée de Classe III, ou attendent, sur une plate-forme de stockage temporaire, un concasseur mobile afin d'être recyclés comme granulats, souvent sans qu'aucun contrôle ne soit effectué sur leur caractéristiques. Parfois, ils peuvent être également réutilisés immédiatement en remblais.

3.6.5 Conditions actuelles du recyclage et de la valorisation

Des fabricants ajoutent des granulats bitumineux recyclés dans des enrobés neufs. Une partie de ces matériaux contenant du goudron a été ainsi diluée au cours du temps, ce qui explique que des revêtements récents puissent contenir souvent un certain pourcentage de goudron.

Les recherches bibliographiques effectuées montrent qu'avec le recyclage à chaud, de faibles teneurs en goudron peuvent déjà conduire à des émissions atmosphériques de HAP qui atteignent des valeurs supérieures à la limite d'exposition admissible (teneur en benzène < 3,25 mg/m³ selon l'annexe III de la directive européenne 90/394/CEE du 28 juin 1990, modifiée par la directive 97/42/CE du 27 juin 1997). Il faut savoir que toute augmentation de 12 °C de la température de traitement des enrobés provoque un doublement des émissions de substances nocives [HUGENER, 1999].

GLET a également montré qu'une augmentation de 33 % en poids de liant ayant un taux de 0,05% de goudron peut élever la teneur en benzo[a]pyrène au seuil limite d'obligation d'inscription au code des produits dangereux en Allemagne (teneur en B[a]P > à 50 mg/kg) [GLET, 2000].

L'industrie routière s'intéresse très sérieusement à de nouveaux processus de fabrication d'enrobés bitumineux, valorisant les agrégats d'enrobés recyclés et mettant en œuvre des techniques à froid. Aux économies de matières premières s'ajoutent l'économie d'énergie et la limitation des émissions et de l'exposition des ouvriers à la fumée. Cependant s'il est important d'abaisser la température de malaxage, en pratique les difficultés sont nombreuses, car il s'agit de conserver les propriétés de maniabilité, d'enrobage, de mise en œuvre, de remise en circulation et de coût du produit.

De plus, les nouveaux enrobés doivent être compatibles avec les stations d'enrobage existantes, (essentiellement des centrales à chaud), et doivent permettre des formulations standards.

Les incitations à la gestion des déchets de chantier [Circulaires DR-DPPR du 15 février 2000 et du 18 juin 2001] font naître de nouvelles procédures dans les marchés publics. Ceux-ci devront désormais comporter un bilan environnemental, faisant état du traitement des déchets occasionnés par le projet, et un Schéma d'Organisation de Suivi et d'Évaluation des Déchets (SOSED). Des outils opérationnels sont ainsi proposés aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage (DDE, FNTP, etc...), selon une démarche volontairement positive pour le respect de l'environnement.

3.6.6 Conclusion

Théoriquement, il est possible de retrouver du goudron dans chaque route ou chemin emprunté : brai de houille dans la masse de l'enrobé, émulsion entre deux couches intermédiaires, ou encore enduit de revêtement.

Le goudron continue à être employé dans la formulation d'enrobés spéciaux pour ses qualités de résistance aux solvants pétroliers.

L'entretien des routes entame très peu les volumes de goudron présents initialement dans les chaussées. Seuls les travaux d'assainissement atteignent la structure des enrobés. Ces derniers travaux sont programmés régulièrement mais en nombre limité.

Les déchets routiers ont souvent été réutilisés dans des travaux annexes au chantier principal de démolition (remblais, accotements, etc...). Les matériaux recyclés ajoutés au nouvel enrobé sont susceptibles de contenir du brai de houille issu d'applications antérieures. Les quantités d'HAP augmentent dans ce cas considérablement, par rapport à l'utilisation standard de bitume de pétrole neuf.

Trois constats peuvent être énoncés concernant le recyclage des déchets de démolition routière :

- Un recyclage des matériaux de démolition routière sans détermination suffisante de la présence de goudron et de B[a]P présente des risques pour l'environnement et la santé ;
- Le développement de nouveaux produits et des techniques à froid est en cours d'évaluation ;
- La volonté des institutions publiques et des organismes fédérateurs pour soutenir une solution durable au recyclage et à la valorisation des matériaux inertes, se concrétise par des outils méthodologiques qui se mettent en place progressivement.

3.7 PRODUCTION ET MARCHES DU GOUDRON EN FRANCE

La production de bitume en France pour l'année 2000 atteignait environ 3 000 000 tonnes. La production de goudron pour les techniques routières atteint 30 000 tonnes et continue à diminuer.

3.7.1 La production de goudron

Actuellement, le seul fabricant de goudron de houille en France est HGD (Houille Goudron et Dérivés). Il s'agit d'une concentration des groupes Elf Atochem S.A. et Rütgers VfT S.A depuis juillet 1994. Les unités de production sont essentiellement localisées à Marienau (57).

La production de goudron de houille de cette société n'est pas remise en question par la fermeture définitive des mines à l'échéance 2005. Elle est principalement destinée au marché des électrodes. Sur l'ensemble de la production annuelle 2001, seulement 30 000 tonnes ont été orientées vers le marché de la construction routière. Les goudrons et brais de houille participent alors à la fabrication d'enrobés spéciaux, protection anti-kérosène, et à l'élaboration de fluxant.

3.7.2 Les marchés

Le goudron est fragmenté en deux grandes catégories de produits, représentant chacune 50 % environ de la charge à distiller : les huiles correspondent aux fractions légères, les brais aux fractions lourdes. Ces derniers sont destinés à la fabrication des électrodes, tandis que les huiles sont plutôt considérées comme des produits fatals.

Le secteur des applications routières utilise :

- Certaines huiles de fluxage qui entrent dans la composition des liants routiers, nécessaires à la fabrication des enrobés et des enduits superficiels pour la chaussée. Les grands types de liants contiennent des huiles carbochimiques dans les émulsions aqueuses (1 %) et dans les liants anhydres, épandus à chaud (40 %) ;
- Le brai de houille qui se comporte en matériau thermoplastique, susceptible d'agglomérer des particules solides de manière à obtenir une pâte homogène entre 140 °C et 160 °C. Il entre également dans la composition des enrobés afin d'assurer une fonction de liant.

L'usage des goudrons est actuellement très limité, pour des raisons d'ordre toxicologique. Par ailleurs les difficultés liées au transport en citernes calorifugées de ces liants, conduisent à définir des zones économiquement rentables de 200 à 250 km à partir des sites de production. Cette restriction géographique peut être dépassée par un conditionnement liquide des produits, qui réduit les risques sanitaires et facilite le transport.

Les acheteurs d'huiles, de mélanges ou de brais de houille sont les sociétés routières et les autorités publiques en charge des réseaux routiers.

Des importations en provenance de l'Europe Centrale (République Tchèque) et du Proche-Orient (Turquie) sont également connues. Cependant, le brai de houille en provenance de ces pays est essentiellement orienté vers la fabrication des électrodes destinées à l'industrie de l'aluminium ou à la sidérurgie électrique.

3.7.3 Conclusion

A l'heure actuelle, il ne reste qu'un seul producteur de goudron de houille en France.

La production de goudron de houille pour les applications en techniques routières est en constante régression et n'est plus que de quelques dizaines de milliers de tonnes par an.

3.8 CONCLUSIONS GENERALES

Peut-on retrouver actuellement du goudron dans les routes françaises ?

La réponse à cette question est positive. Le goudron peut être rencontré sous forme de brai de goudron dans la masse, et sous forme d'enduit de surface. Cependant, il n'existe aucune traçabilité sur la nature et les proportions des matériaux en place dans le réseau routier français. Les enrobés spéciaux avec goudron sont toutefois localisables en raison de l'usage recherché (protection anti-kérosène des parkings d'aéroports, ...).

La capacité structurelle d'une chaussée est faiblement dégradée avec le temps. Les routes sont régulièrement entretenues, le plus souvent pour des raisons d'usure. Par conséquent, la réfection consiste en un rabotage des couches de surface (10 cm maximum). La démolition complète de la chaussée est donc rare, de même que l'atteinte aux couches confectionnées initialement au brai de goudron.

Les pratiques et l'usage des émulsions goudronnées se sont pérennisés plus longtemps que celui du brai de goudron. Le remplacement du goudron a tardé du fait de ses très bonnes qualités techniques. Le mélange goudronné peut ainsi être retrouvé dans des couches intermédiaires, où il résulte d'un épandage fonctionnel (accrochage) lors de la réfection d'une route.

Pourquoi caractériser les déchets de démolition routière ?

Le déchet routier se présente sous deux formes principales : le fraisat (résultat du rabotage) des surfaces bitumineuses et/ou le découpage sous forme de plaques d'enrobés.

La détermination de la présence de goudron dans ces déchets est primordiale pour des raisons de protection de la santé publique et de l'environnement. En effet, le goudron est composé de nombreux HAP (10 à 50 % en masse), qualifiés de cancérigènes.

L'impact sur l'environnement est tributaire de l'abrasion mécanique des revêtements superficiels (enduits de goudron), et du lessivage des goudrons pris dans la masse des enrobés et des liants à base de goudron, mêmes s'ils sont peu solubles dans l'eau.

Quels sont les textes et moyens mis en œuvre actuellement pour limiter les nuisances ?

Les normes françaises définissent les caractéristiques physiques et mécaniques du goudron pour la fabrication d'enrobés ou liants, à l'exception des produits spéciaux non classifiés.

Des textes réglementaires français et européens imposent une vigilance sur la gestion des déchets. Les déchets avec goudron sont recensés dans les nomenclatures. Ils apparaissent en rubrique « 17 00 00 » pour les déchets de construction et de démolition (y compris la construction routière). Leur stockage doit s'effectuer en CET de classe I après stabilisation (arrêté du 18 décembre 1992), du fait de leur classement dans la catégorie des déchets dangereux.

Aucune recommandation n'est encore proposée en France pour déterminer les teneurs en HAP dans les déchets routiers : ni méthodes ni valeurs-guides. L'alternative éventuelle au ré-emploi des déchets routiers sans goudrons reste les installations de stockage pour déchets inertes (classe III).

C'est pour répondre aux incertitudes liées à la présence du goudron dans les déchets de construction routière qu'il est absolument nécessaire de pouvoir déterminer rapidement et avec certitude si la couche d'enrobé, ou les fraisats démolis sur le chantier contiennent ou non du goudron, et si possible en connaître la teneur approximative.

La seconde partie de l'étude s'attache à définir les méthodes et analyses qui permettraient de détecter la présence des goudrons, et si possible de quantifier les cette présence dans les enrobés.

4 METHODES RAPIDES DE CARACTERISATION DES GOUDRONS

4.1 INTRODUCTION

La première partie de ce rapport a permis de souligner la nécessité d'une reconnaissance des goudrons contenus dans les déchets de démolition routière, et de la détermination suffisamment précise de leur teneur en HAP.

Celle-ci doit intervenir le plus tôt possible sur un chantier de démolition routière afin de pouvoir :

- Trier les déchets, avec ou sans goudron ;
- Manipuler les déchets avec les précautions nécessaires (éventuels risques sanitaires dus aux poussières) ;
- Orienter les déchets vers leur destination finale (centres de traitement, recyclage, stockage en classe I II ou III).

Des méthodes de détermination des goudrons répondant aux exigences de détection qualitative des HAP dans des conditions de chantier ont donc été recherchées. Elles doivent être assez rapides pour l'évaluation (résultat en quelques minutes), et assez simples pour être pratiquées sur le terrain par les ouvriers.

Dans un premier temps, une description des principales méthodes d'analyse des HAP, principaux composés des goudrons, est présentée. Puis, certaines de ces méthodes ont été expérimentées sur le terrain afin de tester la facilité et les limites de leur mise en œuvre dans des conditions réelles (chantier de démolition, installations de stockage). Enfin, des analyses quantitatives des HAP ont été réalisées en laboratoire pour comparer et vérifier l'efficacité de chacune de ces méthodes.

4.2 METHODES DE DETECTION DES HAP CONTENUS DANS LES DECHETS ROUTIERS

Les méthodes de détection des HAP peuvent être classées en trois grandes familles :

- les méthodes rapides qualitatives,
- les méthodes semi-quantitatives,
- les méthodes quantitatives.

a) Les méthodes rapides de détermination de la présence de HAP sont les suivantes (cette liste n'est pas exhaustive) :

- Pulvérisation de PAK marker ;
- Méthode à la tache au toluène [GLORIE, 1998] ;
- Appareil TSE (Teerschnellerkennungs-Prüfgerät)[GLORIE, 1998] ;
- Méthode par sublimation [GLET, 2000] ;
- Chromatographie sur papier au toluène [GLORIE, 1998] ;
- Chromatographie sur papier au DMSO/DMSO³ [GLORIE, 1998] ;
- Détection par photoluminescence [ADEME, 1999].

Les critères de sélection pour ces méthodes sont la facilité et la simplicité d'usage sur un site (chantier ou décharge), mais aussi la rapidité (délai court pour orienter les déchets à partir d'un chantier de démolition).

b) Les méthodes d'analyse semi-quantitative des fractions aromatiques sont :

- Chromatographie en couche mince (CCM) [GLORIE, 1998] ;
- Chromatographie sur gel perméable (GPC) [MEIRIS, 1973] ;
- Chromatographie à l'aide d'argile attapulgite [WALLACE, 1987] ;
- Chromatographie sur alumine [WALLACE, 1987] ;
- Chromatographie sur silice [WALLACE, 1987] ;
- Chromatographie en phase gazeuse couplée avec la spectrométrie de masse (CG/SM).

c) Les méthodes d'analyse quantitative sont :

- Chromatographie liquide haute performance (HPLC) ;
- Méthodes d'analyse structurale couplée RMN et FISM [RAFENOMANANTSOA A., 1998].

Seules les méthodes d'analyses rapides répondent au cahier des charges présenté en introduction. Le Tableau 10 les compare de façon détaillée.

Parmi les normes concernant les liants hydrocarbonés, des méthodes de détermination des teneurs en bitume et en distillats lourds sont proposées (Tableau 11).

Tableau 11 : Normes de détermination de teneurs dans les liants hydrocarbonés

NORME	DATE	TITRE
XP T66-041	12/95	Liants hydrocarbonés – Détermination de la teneur en bitume d'un bitume par dissolution à froid
XP T66-042	12/97	Liants hydrocarbonés – Détermination de la teneur en distillats lourds carbochimiques des bitumes composés – Méthode densimétrique

³ DMSO : diméthyl sulfoxyde

Tableau 10 : Récapitulatif des paramètres sélectionnés pour chacune des méthodes de détection rapide du goudron

4.3 ETUDE EXPERIMENTALE SUR SITE

4.3.1 Problématique

Pour mettre en œuvre les méthodes de détection à notre disposition, il était nécessaire de prélever des échantillons de matériaux bitumineux variés :

- En âge, pour retrouver des matériaux de structures anciennes et de constitution différente suivant l'évolution des pratiques ;
- En usage, pour confirmer l'application de formulations spécifiques selon les enrobés et revêtements ;
- En provenance géographique, pour établir un lien éventuel entre région et pratiques routières.

L'étude bibliographique a montré que les goudrons ont été largement utilisés dans les techniques routières en France et qu'ils se trouvent encore dans certains enrobés de structures profondes, ou dilués dans des revêtements de chaussées du réseau national du fait du recyclage.

Le bitume contiendrait en moyenne de 20 à 30 mg/kg de HAP, soit globalement moins de 5 mg/kg dans l'enrobé bitumineux [ONFIELD, 2001] [GLET, 2000].

Actuellement, les liants hydrocarbonés à base de bitume représentent plus de 95 % des liants hydrocarbonés utilisés en techniques routières. Les réfections complètes de chaussées étant restreintes du fait des coûts et des problèmes logistiques engendrés par les travaux. La difficulté majeure de l'étude semblait donc être la récupération de déchets de démolition contenant des composés goudronnés, et plus encore, l'obtention d'un gradient de teneurs en HAP, qui permettrait de déterminer les limites des différentes méthodes sur le terrain.

4.3.2 Partenariat

La Société des Enrobés du Val d'Oise (SEVO, Groupe APPIA) et le groupe CHARIER (Montoire-de-Bretagne) ont collaborés avec l'INERIS pour la mise à disposition d'échantillons de différentes provenances (site de stockage ou chantier de démolition).

4.3.3 Campagne d'échantillonnage

4.3.3.1 Les chantiers de démolition

a) Le boulevard Paul Leferme longe le port de Saint-Nazaire. Il supporte un trafic intense constitué essentiellement de poids lourds. Une réfection de la couche de roulement, déformée en quelques endroits (affaissements localisés), a été programmée les 7 et 8 novembre 2001.

La réfection s'est déroulée en plusieurs temps :

- Marquage au sol des secteurs à refaire ;
- Purge par rabotage de 3 à 8 cm au niveau des rives (bordures de trottoirs) sur la largeur d'une voie de circulation. Ce rabotage reste superficiel au regard de l'épaisseur totale de la chaussée (photos 1 et 2) ;

Photos 1 et 2 : Rabotage dans la chaussée du boulevard Paul Leferme (Saint-Nazaire)



- Rejet des fraisats à granulométrie fine et très grossière dans un camion (orienté vers un CET de Classe III), ou mis en tas pour réutilisation pour les accotements (photos 3 et 4) ;

Photos 3 et 4 : Destination des fraisats : bennés vers un CET de classe III ou mis sur l'accotement



- Nettoyage de la chaussée ;
- Un contrôle des couches d'enrobé bitumineux mises à nues est réalisé simultanément ;
- Mise en place de deux nouvelles couches d'enrobés avec émulsion intermédiaire (photos 5 et 6).

Photos 5 et 6 : Recharge de la chaussée avec deux nouvelles couches de béton bitumineux et d'émulsions intermédiaires.



Les fraisats décapés, ainsi que les différentes couches de revêtements en place dans le profil de la route ont été testés. Les tests à la tache au toluène et au PAK Marker ont été effectués. Les premiers n'ont donné aucun résultat positif alors que les seconds montraient de faibles variations de couleur.

b) Des travaux similaires ont eu lieu le 05 novembre 2001 sur la route départementale RD 971 longeant le port autonome de Saint-Nazaire. C'est une voie aussi circulante que le boulevard mais en meilleur état car plus récente. Une purge superficielle a suffi avant l'épandage d'un nouveau revêtement.

Les déchets de fraisage déversés en tas sur le bord de la chaussée refaite ont été testés. Les tests effectués au PAK Marker se sont révélés négatifs. Ces fraisats ont été utilisés en remblais pour stabiliser l'accotement.

4.3.3.2 Les CET de Classe III

Trois CET de Classe III ont été visités et les déchets d'enrobés déjà stockés sur place ont été testés :

- La Sencie (Donges 44), proche des chantiers de démolition de Saint-Nazaire : 6 tas de déchets, 4 échantillonnages en fonction des résultats des tests au PAK Marker,
- La Faubretière (Haie-Faussière, 44), au sud de Nantes : 4 tas de déchets, 3 échantillonnages en fonction des résultats des tests au PAK Marker,
- Ecoterre de Guermeur (Ploeumeur, 56), proche de Lorient : 3 tas de déchets, 3 échantillonnages en fonction des résultats des tests au PAK Marker.

4.3.3.3 Les centrales d'enrobés

a) La carrière de La Clarté (groupe CHARIER) à Herbignac (44), accueille sur son site une centrale de préparation automatisée des enrobés.

Les granulats extraits de la carrière fournissent la centrale en matières premières. De ce fait, le recyclage des matériaux bitumineux n'intéresse généralement que modérément ce type de complexe.

Des échantillons ont été mis à notre disposition mais aucun échantillonnage n'a été réalisé à ce jour sur ce site.

b) La centrale de préparation d'enrobés du site de la SEVO comprend : des lieux de stockage pour granulats et une concasseuse avec crible pour le recyclage d'anciens déchets de déconstruction routière. Le refus du crible est mis en tas en attendant le passage annuel d'une broyeuse grande capacité qui réduit entièrement le stock annuel.

Trois prélèvements ont été effectués (photos 7 et 8) :

- Sur le tas provenant de la concasseuse-cribleuse (le passant) ;
- Sur le refus (croûtes d'enrobés purs : photo 8) ;
- Sur un surplus d'enrobé frais (fabriqué la veille).

Photos 7 et 8 : Site de la Société des Enrobés du Val-d'Oise : recyclage de déchets de démolition ; stockage des croûtes d'enrobés dans l'attente d'un concasseur.



4.3.3.4 Les stations-services

Les méthodes de détection rapide du goudron ont également été expérimentées sur des revêtements à caractère anti-kérosène. Cependant, il n'a pas été possible d'avoir accès à des voies et/ou des parkings d'aérodromes en activité. De ce fait, des anciens sites de stations-services ont été recherchés.

Les recherches se sont soldées par :

- Deux stations inaccessibles car remises en service ;
- Deux sites de stations complètement détruits ou réhabilités en habitation et commerce ;
- Trois plates-formes de stations-services construites en béton.

Par conséquent, aucun échantillonnage spécifique à une application «anti-kérosène » des liants hydrocarbonés n'a été réalisé.

4.3.3.5 Récapitulatif des échantillons prélevés

Le tableau 12 récapitule l'ensemble des échantillons prélevés au cours des différentes campagnes d'investigation. Il fournit en particulier :

- l'âge de l'échantillon,
- l'utilisation, si elle est connue,
- la provenance,
- la description de l'échantillon prélevé,
- la quantité prélevée.

Tableau 12 : Récapitulatif sur des échantillons de déchets routiers récupérés pour l'étude

N° qualité	Age	Utilisation	Prov.	Description	Poids (kg)
01CT552	?	?	60	Croûtes d'enrobés concassées	2,788
01CT553	?	?	60	Croûtes d'enrobés concassées	Environ 5
01CT554	?	?	60	Croûtes d'enrobés concassées	Environ 5
01CT555	?	?	60	Croûtes d'enrobés concassées	Environ 5
01CT556	?	?	60	Croûtes d'enrobés concassées	Environ 5
01CT557	1 jour	Surplus d'enrobé frais	60	Granulats solidifiés	Environ 3
01CT558	20 ans	Traverse de ville, trafic important	44	Croûtes d'enrobés	?
01CT559	+/- 10 ans	RN 171, trafic intense	44	Croûtes d'enrobés	?
01CT869	+/- 10 ans	Traverse de ville, trafic intense	44	Fraisats fins à grossiers	1,356
01CT870	+/- 5 ans	RD 191, trafic intense	44	Fraisats fins à grossiers	?
01CT871	+/- 10 ans	Traverse de ville, trafic intense	44	Croûtes d'enrobés	2,030
01CT872	+/- 10 ans	Traverse de ville, trafic intense	44	Croûtes d'enrobés	2,099
01CT873	?	?	44	Croûtes d'enrobés au liant visqueux	16,370
01CT874	?	?	44	Croûtes d'enrobés	13,912
01CT875	?	?	44	Croûtes d'enrobés	7,484
01CT876	?	?	44	Croûtes d'enrobés	10,613
01CT877	?	Voie secondaire privée, trafic important	44	Croûtes d'enrobés	19,952
01CT878	?	Voie secondaire privée, trafic modéré	44	Croûtes d'enrobés	12,273
01CT879	?	Parking de grande surface, trafic important	44	Croûtes d'enrobés	13,269
01CT880	+/- 10 ans	Route départementale, trafic moyen	35	Croûtes d'enrobés	9,974
01CT881	5 à 10 ans	Traverse de ville, trafic modéré	35	Croûtes d'enrobés	10,468
01CT882	5 à 10 ans	Traverse de ville, trafic modéré	35	Croûtes d'enrobés	13,172
01CT883	+/- 10 ans	Voie secondaire en ville, trafic faible	60	Croûte d'enrobés	13,401
01CT884	5 jours	Voie secondaire en ville, trafic faible	60	Enrobés frais	7,653
01CT885	?	Ancienne station-service	60	Croûtes d'enrobés	5,431
01CT886	> 25 ans	Chemin forestier	60	Croûtes d'enrobés	13,103

4.3.4 Réalisation des essais

L'annexe H fournit une fiche descriptive des trois méthodes expérimentées par nos soins sur le terrain. A titre d'information, une fiche détaille également la méthode par sublimation, et le détecteur par photoluminescence en cours de développement aux USA

Les trois méthodes rapides expérimentées sur les échantillons ont été :

- Le spray au PAK marker ;
- La tache au toluène ;
- L'appareil TSE.

4.3.4.1 Mise en œuvre des méthodes

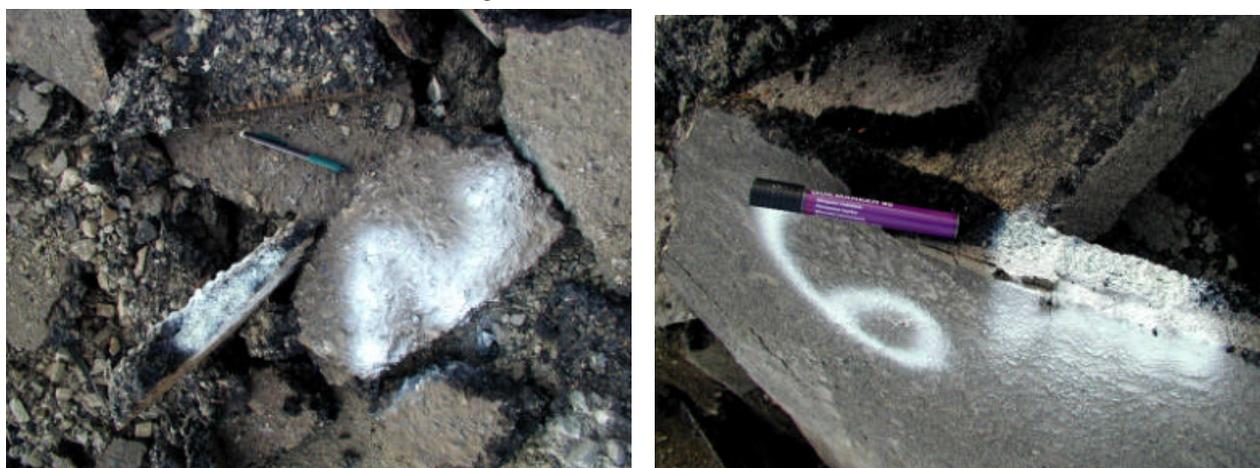
Dans un premier temps, afin d'orienter la campagne d'échantillonnage, deux méthodes ont été testées sur les sites : la tache au toluène et le PAK Marker.

a) La méthode du **PAK Marker** montre une bonne rusticité et est facile d'emploi : une pulvérisation du spray sur la surface à tester et quelques secondes d'attente. L'usage est efficace quelle que soit la surface disponible, sèche ou humide, profils de tranchée sur une chaussée ouverte, fraisats de rabotage ou plaques d'enrobé en tas (photos 9 à 12).

Photos 9 et 10 : Essais au PAK Marker sur un profil de chaussée et des fraisats (échantillon 01CT871), chantier du boulevard Leferme (Saint-Nazaire, 44).



Photos 11 et 12: Essais au PAK Marker sur des croûtes d'enrobés déposées en décharge (44 Donges), échantillons 01CT874 et 01CT876.



b) La méthode de la **tache au toluène** nécessite des conditions de moyens *minima* pour être mise en œuvre : un support ferme et un lieu sec, si possible à l'abri du vent (photos 13 et 14).

Photos 13 et 14: Essais de la tache au toluène sur des débris d'enrobés du chantier de démolition (01CT871) et de croûtes du CET de La Sencie (01CT873)



c) L'appareil TSE doit être branché au secteur électrique. De ce fait, une batterie est à prévoir si les essais doivent s'effectuer sur le site. L'alternative consiste à prélever un nombre suffisant d'échantillons représentatifs pour réaliser les essais dans un lieu adéquat (laboratoire par exemple).

L'appareil chauffe par de l'air chaud à 530 °C les déchets routiers, dont s'échappent les vapeurs de composés organiques volatils. Celles-ci sont captées à l'aide d'une pompe à vide fixée sur l'appareil et traversent un tube réactif au xylène. Pour éviter d'être exposé aux vapeurs toxiques des composés volatils émanant des déchets, il est important de se trouver dans un endroit très aéré, et de porter un masque protecteur (photo 15).

Photo 15 : Essai avec l'appareil TSE sur des morceaux d'enrobés.



4.3.4.2 Lisibilité des résultats

La lisibilité des résultats dépend de la sensibilité des méthodes. D'après les essais réalisés par le C.R.R. (Centre de Recherche Routière belge), les méthodes du PAK marker et de la tache au toluène ont le même seuil de détection : environ 100 mg 10 HAP-VLAREA⁴ /kg de matériau [GLORIE, 1998]. Ceci confirme les informations fournies par le fournisseur du PAK Marker : la couleur blanche du spray de peinture varie au jaune à partir d'une concentration de 100 mg d'HAP/ kg. Pour l'appareil TSE, la limite de sensibilité du tube réactif correspondrait à une teneur en goudron de 3 % en masse du liant, c'est-à-dire 0,12 % (1200 mg HAP/kg de matériau) dans l'enrobé total (notice du fabricant).

a) PAK marker

Sur le terrain, la variation de couleur n'est pas toujours facile à mettre en évidence, ou à apprécier selon les supports (fraisats, crôutes granuleuses). En effet, un seul essai a montré un changement coloré franc, virant rapidement du blanc au jaune : l'échantillon 01CT886 du chemin forestier, dont l'odeur même nous informait du contenu goudronné.

Les autres essais se sont avérés : soient nuls, et aucune variation de la couleur blanche ; soient incertains, et la couleur blanche vire au jaunâtre de façon diffuse ou suivant un niveau spécifique de l'enrobé. Ces réactions nuancées peuvent être interprétées respectivement par une concentration trop faible sur l'ensemble de la surface testée (liant à faible teneur en goudron, HAP dispersés), et par une détection des HAP localisée spécifiquement dans les émulsions épandues (couche d'accroche) entre deux couches d'enrobés.

Cette interprétation peut être améliorée par une lecture en lumière ultraviolette, réalisée dans un local noir à l'aide d'une lampe UV. Les points et surfaces photoluminescents indiquent alors la présence de HAP (photo 16).

Photo 16: Lecture des résultats des essais au PAK Marker à la lumière ultraviolette (échantillons 01CT885, 01CT552 et 01CT886).



b) Tache au toluène

⁴ Les législations flamandes VLAREA concernent les matières premières secondaires. Les 10 HAP-VLAREA sont les suivants : benzo(b)fluorantène, inéno(1,2,3,c,d)pyrène, benzo(k)fluorantène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, fluorantène, naphtalène, phénanthrène, chrysène, benzo(a)anthracène.

Les premiers essais de la méthode par la tache au toluène se sont révélés négatifs. Cette méthode nécessite une mise au point, et particulièrement d'apprécier la quantité de toluène déposée sur l'échantillon :

- trop de toluène, l'ensemble du matériau bitumineux est dissout et la couleur brune du solvant coloré couvre les éventuelles nuances orangées de l'auréole, censées indiquer la présence de goudron ;
- pas assez de solvant, le toluène pénètre dans le matériau poreux, sans s'écouler jusqu'au papier.

De plus, cette méthode s'est avérée difficile à mettre en œuvre sur site, du fait des intempéries et de résultats décevants (photos 17 à 19). D'autres essais effectués en laboratoire sur les échantillons ramenés du terrain se sont également avérés tous négatifs, à l'exception de celui contenant une teneur en 15 HAP-EPA supérieure à 7 000 mg/kg (échantillon 01CT886).

Photos 17 et 18 : Résultats des essais de la tache au toluène sur des débris d'enrobés échantillons 01CT886 et 01CT552.



Photo 19 : Résultats des essais de la tache au toluène sur des débris d'enrobés échantillons 01CT886 et 01CT552.



c) L'appareil TSE

L'appareil TSE a été testé après réception des résultats quantitatifs des analyses HAP sur les échantillons sélectionnés (photo 18). Par conséquent, la méthode n'a été expérimentée que sur trois échantillons, dont les résultats quantitatifs indiquaient les plus fortes concentrations (échantillons 01CT874, 01CT885 et 01CT886).

Plusieurs précisions peuvent être apportées pour la lisibilité des résultats au TSE :

- La coloration qui apparaît sur le tube réactif de xylène semble plutôt gris-bleutée à violette, et non brune comme indiqué dans la notice fournie avec les tubes réactifs ;
- La coloration doit être interprétée comme une confirmation de la présence de xylène (hydrocarbure aromatique monocyclique). Il ne faut en aucun cas estimer la quantité de HAP totaux en fonction de l'importance de cette coloration sur la longueur du tube. La méthode reste uniquement qualitative.
- Les tubes réactifs détectent les seules vapeurs des composés de la famille du xylène présents dans le matériau. Le xylène fait partie des composés organiques semi-volatils. De ce fait, la teneur en xylène peut s'atténuer avec le temps, et la réaction à l'essai TSE être moindre par rapport à l'ensemble des autres HAP non volatils contenus dans le matériau.

La notice d'utilisation de l'appareil TSE préconise quelques minutes de chauffe. Ce délai mérite sans doute d'être étudié plus précisément. En effet, il pourrait être adapté au matériau (frais ou ancien) et au volume de l'échantillon testé.

Photo 20 : Résultats des essais avec l'appareil TSE, échantillons 01CT886, 01CT885 et 01CT874.



4.3.5 Résultats des essais

Le Tableau 13 présente les résultats qualitatifs des essais en fonction des trois méthodes de détection de goudron testées.

Tableau 13 : Résultats qualitatifs des essais en fonction des trois méthodes de détection rapide de goudron expérimentées.

N° qualité	Méthode à la tache de toluène	Essai PAK marker		Essai à l'appareil TSE
		A la lumière visible	Aux ultra-violet	
01CT552	--	+/-	+	n.e.
01CT869	--	+/-	n.e.	n.e.
01CT870	--	+/-	n.e.	n.e.
01CT871	--	+	n.e.	n.e.
01CT872	--	+	n.e.	n.e.
01CT873	--	+/-	n.e.	n.e.
01CT874	--	+	n.e.	--
01CT875	--	+	n.e.	n.e.
01CT876	n.e.	+	n.e.	n.e.
01CT877	n.e.	+/-	n.e.	n.e.
01CT878	n.e.	+	n.e.	n.e.
01CT879	n.e.	+/-	n.e.	n.e.
01CT880	n.e.	--	n.e.	n.e.
01CT881	n.e.	+	n.e.	n.e.
01CT882	n.e.	+/-	n.e.	n.e.
01CT883	n.e.	+/-	n.e.	n.e.
01CT884	n.e.	+	n.e.	n.e.
01CT885	n.e.	+/-	--	+
01CT886	+++	+++	+++	++

Légende des symboles : -- résultat négatif ; +/- résultat douteux ; + résultat positif ; ++ résultat positif affirmé ; +++ résultat positif indéniable ; n.e. non expérimenté.

4.3.6 Conclusions de l'étude expérimentale sur sites

4.3.6.1 Commentaires sur les essais

Les pratiques de techniques routières successives ont introduit le goudron à différents stades de la construction et de la réfection des chaussées : en brai ou en liant dans la masse d'un enrobé, en émulsions entre deux couches ou en enduits superficiels, sans oublier le recyclage de granulats d'anciens enrobés au goudron. Ces diverses utilisations du goudron influent sur les concentrations des HAP contenues dans les enrobés actuels, et donc dans les déchets qui en résultent.

Une chaussée présente une répartition chronologique et visualisable en tranchée verticale des divers travaux réalisés au cours de son existence : structure originelle, diverses couches d'enrobé rabotées et ajoutées pour l'entretien, et éventuellement un revêtement d'enduit en surface.

Les essais sur terrain ont mis en évidence trois aspects de cette répartition, tels que révélés par la réactivité du PAK Marker :

- Le brai de goudron pris dans la masse (échantillon prélevé dans un chemin forestier) est mis en évidence par une réaction rapide et contrastée, virant au jaune aussi bien en surface de la croûte que sur la tranche de l'échantillon (01CT886) ;
- L'émulsion entre deux couches intermédiaires apparaît en une coloration diffuse jaunâtre, répartie plus ou moins linéairement entre deux tranches de matériaux non réactifs (échantillon 01CT885) ;
- Le liant composé de bitume-goudron, où le goudron est réparti dans la masse ressort en points disparates dans l'enrobé (échantillon 01CT552).

Si un changement de coloration reste incertain à la lumière visible, la lumière UV peut faire apparaître une coloration plus nette ou confirmer l'absence de goudron :

4.3.6.2 Commentaires sur les méthodes

Les étapes de mise en œuvre des méthodes sont :

- L'échantillonnage : la surface à tester ou le concassage préalable à effectuer ;
- Le test plus ou moins long dans sa manipulation : quelques secondes (tache au toluène, PAK marker) à une dizaine de minute (TSE) ;
- La lecture de la réaction qui peut se faire en quelques secondes à quelques minutes.

Quoi qu'il en soit, toutes ces méthodes donnent un résultat qualitatif. Cependant, cela n'empêche pas que les méthodes choisies pour les essais de terrain soient adaptées pour une première évaluation sur le chantier de démolition, ou encore lors de l'arrivée des camions sur les sites de stockage.

4.3.6.3 Remarques et recommandations

Les conditions d'utilisation de ces méthodes doivent être précisées à l'utilisateur :

1. Pour des raisons techniques : la température et la pluviométrie peuvent influencer les délais de réaction pour la méthode TSE, un échantillon très froid et détrempé demandant plus de temps pour réagir.
2. Pour des raisons sanitaires : du fait des vapeurs toxiques qui s'échappent en cours d'expérimentation :
 - Le toluène pour la tache au toluène ;
 - Le solvant pulvérisé par le PAK marker ;
 - Les HAP volatils émis par le chauffage de l'appareil TSE.

Il est donc recommandé de pratiquer ces méthodes de détection rapide dans un endroit très aéré et de porter un masque. Si ces méthodes sont mises en œuvre dans des locaux, elles doivent être effectuées sous hotte aspirante, le manipulateur portant également un masque.

4.4 ETUDE EXPERIMENTALE DE LABORATOIRE

L'étude expérimentale de laboratoire consiste à déterminer quantitativement les teneurs en HAP des échantillons prélevés sur les sites, afin de les comparer aux résultats qualitatifs des méthodes rapides réalisées sur ces mêmes échantillons. Elle a pour but de définir la validité et la fiabilité de ces méthodes.

4.4.1 Préparation des échantillons

Seuls seize échantillons ont été analysés pour les HAP. Les critères retenus pour sélectionner ces prélèvements ont été (tableaux 12 et 13) :

- Les échantillons présentant des réactions graduées aux essais de détection rapide sur le terrain ;
- La répartition géographique des échantillons ;
- Le type d'usage des enrobés (routes principales, chemin forestier, etc...).

Les photos 21 à 23 illustrent la préparation des échantillons et les différentes opérations réalisées sur chacun :

- A partir du poids total, un quart a été retenu par fragmentation des morceaux présents et/ou division des fraisats homogénéisés ;
- Ce quart a été réduit à une granulométrie de 10 mm au marteau (photo 21) et par un concasseur à mâchoires ;

Photo 21 : Concassage et tamisage pour atteindre une granulométrie de 10 mm.



- Après homogénéisation et passage au diviseur à lames, un quart a été réservé, soit $1/16^{\text{ème}}$ du poids total de l'échantillon (photo 22) ;

Photo 22 : Diviseur à lame pour obtenir le $1/16^{\text{ème}}$ du poids total de l'échantillon.



- Celui-ci a été réduit à la granulométrie de 5 mm par concassage et tamisage (photo 23).

Photo 23 : concassage et tamisage à 5 mm des échantillons.



4.4.2 Analyse quantitative des HAP

Les étapes de mise en œuvre des analyses sont décrites ci-dessous :

- Une prise d'essai de 100 g a été prélevée à partir de l'échantillon fourni par quartage ($1/16^{\text{ème}}$ du poids total initial) ;
- Les granulats ont été extraits 16 heures à l'aide d'un appareil de Soxhlet par du dichlorométhane de qualité pestipur (photo 24) ;

Photo 24 : Extraction par la méthode Soxhlet



- Le volume final (CH_2Cl_2 évaporé) est d'environ 400 ml ;
- La solution ainsi obtenue a été concentrée et purifiée selon le besoin avant d'être introduite dans l'appareil de mesure :

- ⇒ Pour tous les échantillons, excepté le 01CT886, les solutions ont été concentrées 5 fois à l'évaporateur Zymark ;
 - ⇒ La solution de l'échantillon 01CT886 a été diluée au 1/50^{ème}, puis au 1/5^{ème} ;
 - ⇒ Pour l'échantillon 01CT871, la solution concentrée a conduit à un colmatage de l'appareil d'analyse. La solution a donc été diluée au 1/5^{ème}, avant d'être de nouveau analysée.
- La détection a été réalisée par séparation sur colonne chromatographique et dosage à l'aide d'un fluorimètre VARIAN 9075 et d'un spectromètre UV VARIAN Prostar (pour l'acénaphthylène).

4.4.3 Résultats

Pour chaque échantillon, l'analyse permet de détecter les 16 HAP de la liste de l'US E.P.A.. Seule la somme des 16 HAP-EPA a été retenue dans le Tableau 14 ; ceci permettra de comparer les différents résultats d'analyses obtenus.

Tableau 14 : Résultats des analyses pour la somme des 16 HAP-EPA sur les différents échantillons d'enrobés hydrocarbonés testés.

N° qualité	Somme des 16 HAP-EPA Défaut – Excès (mg/kg)
01CT552	30,85 – 31,35
01CT553	1,07 – 1,46
01CT554	0,93 – 1,37
01CT555	2,87 – 3,00
01CT556	1,53 – 1,96
01CT557	2,00 – 2,12
01CT558	0,13 – 0,30
01CT559	3,55 – 3,65
01CT869	1,37 – 2,71
01CT871	< 17,5
01CT879	0,12 – 1,44
01CT881	0,15 – 1,47
01CT883	2,46 – 2,92
01CT884	7,08 – 7,51
01CT885	14,5
01CT886	8124

Le tableau 14 fournit les valeurs par défaut et par excès pour la somme des 16 HAP-EPA. Les données par défaut sont obtenues en prenant 0 comme valeur pour les résultats inférieurs aux limites de détection, et les HAP non détectés. Inversement, les données par excès prennent la limite de détection comme valeur. De ce fait, le résultat réel de la somme des 16 HAP se trouve à l'intérieur de l'intervalle formé par les valeurs par défaut et par excès.

Les résultats détaillés de ces analyses sont présentés en **annexe I**.

4.5 CONCLUSIONS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

Le tableau 15 résume l'ensemble des informations obtenues pour chaque échantillon. La liste des échantillons est triée par ordre croissant de concentration pour la somme des 16 HAP de l'US EPA.

tableau 15 : Récapitulatif des résultats des essais de détection des goudrons et des analyses pour la somme des 16 HAP-EPA pour l'ensemble des échantillons testés.

N° qualité	Age (an)	Utilisation	Département	Nature	Somme des 16 HAP-EPA (mg/kg)	Tache au toluène	PAK marker	Appareil TSE
01CT879	?	Parking	35	BB	0,12-1,44	--	+/-	n.e.
01CT869	10	Voie principale en ville, trafic intense	44	BB	1,37-2,71	--	+/-	n.e.
01CT883	?	Voie secondaire en ville, trafic modéré	60	BB ancien	2,46-2,92	--	+/-	n.e.
01CT884	?	Voie secondaire en ville, trafic modéré	60	BB neuf	7,08-7,51	n.e.	+/-	n.e.
01CT885	15	Ancienne station-service	60	BB	14,5	n.e.	+/-	-- (10 mn)
01CT552	?	?	60	BB	30,85-31,35	--	+/-	+ (10 mn)
01CT886	25	Chemin forestier	60	Liant	8124	+++	+++	++ (2 mn)

Légende des symboles : -- résultat négatif ; +/- résultat douteux ; + résultat positif ; ++ résultat positif affirmé ; +++ résultat positif indéniable ; n.e. non expérimenté.

Tous les échantillons sauf le 01CT886 et le 01CT552 peuvent être considérés comme des échantillons à base de liants bitumineux, dont la teneur en HAP ne dépasse pas les 15 mg pour la somme des 16 HAP-EPA/kg d'enrobé. Ceci confirme les observations de GLET [GLET, 2000].

Le PAK Marker semble la méthode la plus adaptée. Cependant, sa mesure est peu fiable pour les teneurs inférieures à 100 mg/kg. L'appareil TSE semble un peu plus sensible que le PAK marker (résultat positif pour une teneur d'environ 30 mg HAP/kg). Cependant, la durée de l'essai semble déterminante pour l'obtention de ce résultat.

Les résultats quantitatifs de l'analyse en laboratoire par HPLC montrent que les différentes techniques rapides étudiées permettent néanmoins de discriminer l'usage massif de goudrons, malgré un certain manque de sensibilité pour les faibles teneurs.

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Actuellement, on peut encore s'attendre à voir apparaître des déchets de démolition routière contenant du goudron à très brèves échéances du fait :

- de l'assainissement inéluctable des routes,
- du renouvellement des chaussées âgées de plus de 25 ans.

Dans ces conditions, la détection du goudron dans les déchets routiers doit pouvoir être déterminée au plus tôt avec la précision recherchée, qui dépend des teneurs limites que l'on souhaite. Pour cela plusieurs méthodes de détection qualitative du goudron peuvent être mises à contribution (les fiches techniques de ces méthodes sont données en **annexe H**) :

- Le **PAK marker** : il s'agit d'une méthode très facile d'emploi sur site, quelles que soient les conditions climatiques ou matérielles. Il est rapide (quelques secondes) et peu onéreux. Sa limite de détection est d'environ 100 mg d'HAP /kg de déchet (version fabricant), soit 0,01 % de la masse de l'enrobé, ou encore 0,15 % de la masse du liant. Une lumière UV permet une meilleure appréciation du résultat. Elle permet de préciser l'importance de la réaction colorée, et la répartition des composés HAP ;
- L'**appareil TSE** demande un minimum d'investissement à l'achat (environ 510 €). Il est facile à l'emploi mais demande un branchement sur le secteur électrique ainsi qu'une protection contre les vapeurs des HAP volatilisés. La mise en œuvre de cette méthode nécessite une dizaine de minutes environ pour une détection du goudron à partir de 3 % de la masse du liant, c'est-à-dire 0,2 % de la masse dans l'enrobé (notice du fabricant) ;
- La **tache au toluène** présente la même sensibilité de détection que le PAK marker : environ 100 mg/kg. Facile d'emploi sur site, la méthode demande néanmoins à être protégée des intempéries. Elle demande également une certaine expérience de la part de l'utilisateur, pour la mise en œuvre et pour l'appréciation des résultats.

Sur la base d'un seuil de détection d'environ 100 mg/kg, ces méthodes (PAK Marker et TSE en particulier) pourraient être préconisées pour réduire, lors d'une première sélection des matériaux, le nombre des tests plus onéreux. Elles pourraient également servir pour l'orientation de ces déchets vers les différents scénarios possibles (stockage, recyclage, autres utilisations, ...).

D'autres méthodes de détection, parfois plus précises existent. Elles nécessitent souvent l'appui d'un mini-laboratoire sur site.

- Les méthodes par chromatographie peuvent être mises en œuvre si un délai d'une demi-heure est acceptable. Ces procédés utilisent divers solvants (toluène, diméthyl-sulfoxyde) et nécessitent plus de matériel, pour une sensibilité quasi-identique au PAK marker et à la tache au toluène, et inférieure à l'appareil TSE.
- La méthode par sublimation utilisée en Allemagne semble beaucoup plus précise (20 à 25 mg HAP/ kg d'après la bibliographie), avec une rapidité d'exécution de quelques minutes. Cependant, elle nécessite un local et du matériel.
- Enfin, une autre méthode américaine par détecteur de fluoluminescence devrait également arriver sur le marché prochainement.

Toutefois, parallèlement à l'utilisation de ces méthodes, on retiendra que la stratégie et les méthodes d'échantillonnage choisies constitue une part importante de la fiabilité du résultat.

Ainsi, dans le cas d'une opération de démolition de route, le mode de prélèvement d'échantillon et les essais réalisés sur les matériaux doivent tenir compte de la chronologie de construction de la route. Il s'agit de repérer les couches successives en place dans la structure en cours de démolition et de tester chacune d'entre elles indépendamment. Ce repérage doit également se faire sur la longueur de la chaussée, construite généralement en plusieurs tronçons.

6 BIBLIOGRAPHIE

ADEME (1999). "Détection et caractérisation appliquées aux sites pollués, Investigations géophysiques et mesures des polluants sur sites.

AFNOR (2001). Normes françaises.

AHLBOM, J.et U. DUUS (1994). Nya hjulspår -en produktsudie av gummidäck. Stockholm, Sweden., kemikalieinspektionen KEMI. pp **6-94**.

AIPCR (1999). Granulats et développement durable.

BAUMANN, W.et M. ISMEIER (1997). Emissions from Tires in dedicated us, Présentation at the International en Kautschuk. IKT97, Tagung.

BEN SLIMANE, F. (1997). Méthodologie d'étude et modélisation du transport de polluant organiques en milieux poreux naturels : Application à l'étude de deux cas de pollutions issues de l'industrie du bois, I.N.P.L. en Génie Civil - Hydrosystèmes - Géotechnique.

BERTOLINI, G. (2000). "Approche socio-économique des déchets." Techniques de l'ingénieur Vol. **G(G2300)**.

BILLARD, J. (1998). Abrégé de l'histoire des routes, LCPC.

BOWEN, C., P. De GROOT, *et al.* (2000). Etude de la possibilité de lixiviation des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans le bitume. Euroasphalt - Eurobitume 2000.

BRGM (1998). Gestion des sites (potentiellement) pollués - version 2.

CARPENTIER, S. (2001). "Le serment d'un écologue." Routes Actualité Vol. n°104.

Commission Européenne (1998). "98/83/CE." JOCE n° L 330 du 5 décembre 1998.

DDE (2001). Guide à destination des maîtres d'ouvrage publics et de leurs maîtres d'oeuvre.

Editions Législatives (2000). "Dictionnaire Permanent Sécurité et Conditions de Travail." Feuillet 64.

FNTPetD. C. Local (2001). "Recueil de fiches " Les travaux publics et l'environnement".

- GAUTHIER, P. (2000). “Du goudron dans l'espace.” Québec Science.
- GLET, W. (2000). Mise en évidence, par sublimation, de la présence d'HAP dans les matériaux de construction routière. Euroasphalt-Eurobitume 2000, Barcelone.
- GLORIE, G. (1998). Détection de goudron dans les débris d'enrobés hydrocarboné, Centre de Recherches Routières (CRR).
- GOSSELIN, C. (2000). Extraction de produits aromatiques des goudrons de houille. Techniques de l'Ingénieur. Vol. **JP**: pp 1-10.
- GUERIN, V. (2000). Revue bibliographique de l'atténuation naturelle des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Verneuil-en-Halatte, INERIS.
- HUBERT, G. (2001). “Communication sur la méthode PAK Marker.”.
- HUGENER, M., H. DESCHWANDEN, *et al.* (1999). Le recyclage conforme aux exigences de l'environnement des revêtements routiers contenant du goudron, EMPE, IMP, ERTEC S.A.
- IARC (1985). Monographie sur l'évaluation des risques cancérigènes pour l'homme des produits chimiques. Composés aromatiques polycycliques, 4ème partie : Les bitumes, goudrons de houille et produits dérivés, les huiles de schistes et suies.
- INRS (1997). Fiche toxicologique n°144 : Benzo[a]pyrène.
- KOENDERS, B. (2000). “Fabriquer des enrobés à basse température.” Route Actualité Vol. 101: pp 44-49.
- KRONING, M., K. SCHENK, *et al.* (2001). Le goudron n'est pas équivalent à du bitume. Strasse und Verkehr. pp 177-180.
- LARNESJO, P. (1999). Applications of Source Receptor Models Using Air Pollution Data in Stockholm. Department of Analytical Chemistry. Stockholm, Stockholm University.
- LONDON, C. (2001). “Cadre réglementaire communautaire et interne des déchets.” Techniques de l'ingénieur Vol. **G(G2020)**: pp 1-17.
- MEHU, J. (1999). Classification réglementaire et éocompatibilité des déchets. Techniques de l'ingénieur. Vol. **G**: pp 1-8.
- MEIRIS, R. B. (1973). “Gel permeation chromatography as a possible method for analysis of tar/bitume mixtures.” Chemistry and Industry. pp 642-643.
- MICHEL, P. (2000). “Mise en œuvre des bétons de démolition : approche technique et économique.” Les techniques de l'industrie minérale.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire (2000). “Circulaire du 15 février 2000 relative à la planification de la gestion des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics (BTP).”.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire (2001). “Circulaire DR-DPPR ayant pour objet la gestion des déchets du réseau routier national.”.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire (2001). “Guide technique relatif aux installations de stockage de déchets inertes.”.
- NAVARRO, J. (1998). “Le système déchet.” Techniques de l'ingénieur Vol. **G (G2000)**: pp 1-4.

- NIOSH (1998). "Manual of Analytical Methods (NMAM).".
- OFEFP (1997). Déchets : Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux.
- OFEFP (1999). Recommandation : Elimination des matériaux goudronneux de démolition des routes dans des usines de revêtement - solution transitoire-.p 2.
- OFEFP (2000). Méthodes d'analyses pour échantillons solides et aqueux.
- OFEFP (2001). "Commentaires concernant l'ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol)."
- ONFIELD, J.-N. (2001). "' Eurasphalt/Eurobitume : Santé, sécurité et environnement "." Route Actualité Vol. n°101.
- ONFIELD, J.-N. (2001). "TPtech : nouvelles approches en structures et gestion des matériaux dans la route." Route Actualité Vol. n°104.
- PEPIN, G. (1998). Caractérisation des déchets - Essais de percolation sur deux déchets bitumineux. Verneuil-en-Halatte, INERIS. p 23.
- Préfecture Régionale d'Auvergne et Direction Régionale de l'Équipement (2001). "La prise en compte de la gestion des déchets de chantier dans les marchés publics - bâtiment et travaux publics." Vol.: pp.
- RAFENOMANANTSOA, A., D. NICOLE, *et al.* (1998). "NMR and FIMS structural analysis of oil obtained from the pyrolysis of Bemolanga according to a post combustion process." Fuel Vol. **77**(1/2): pp 33-41.
- USIRF (2001). Les enrobés bitumineux. Revue Générale des Routes et Aéroports. Vol. **tome 1**: pp.
- WALLACE, D., D. HENRY, *et al.* (1987). "Evaluation of some open column chromatographic methods for separation of bitumen components." Fuel Vol. **66**: pp 44-50.

7 LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nombre de pages
A	Déchets admissibles par nature en CET (DRIRE et Préfecture régionale d' Auvergne)	2
B	Recensement sommaire des déchets de la route et de leurs potentialités de valorisation Schéma d'Organisation et de Gestion des Déchets (SOGED) (Note d'information du SETRA, avril 2000)	2
C	Gestion des matériaux bitumineux en Suisse. Incidence de la teneur en goudron et HAP sur les possibilités d'utilisation ou d'élimination des matériaux bitumineux	2
D	Procédés utilisés pour extraire les goudrons [GOSSELIN, 2000]	2
E	Données générales sur les infrastructures routières françaises (Ministère de l'Équipement, décembre 2001)	3
F	Suivi quantitatif et qualitatif du réseau pour l'entretien routier (Ministère de l'Équipement, décembre 2001)	2
G	La technique du « goudronnage » des chaussées	7
H	Fiches descriptives des méthodes de détection rapide du goudron	9
I	Résultats détaillés des analyses quantitatives des HAP (HPLC)	1
J	Classification du pouvoir cancérigène des HAP (signification des classes mentionnées dans le tableau 6)	3

ANNEXES

ANNEXE A

Déchets admissibles par nature en CET

ANNEXE B

Recensement sommaire des déchets de la route et de leurs potentialités de valorisation Schéma d'Organisation et de Gestion des Déchets (SOGED)

RECENSEMENT SOMMAIRE DES DECHETS DE LA ROUTE ET DE LEURS POTENTIALITES DE VALORISATION

(Sources : note d'information n° 63 du SETRA; CIFP de Tours, dans le cadre des travaux de Dequade Environnement)

ACTIVITE	NATURE DU DECHET		USAGE
Construction, démolition, gros entretien de chaussées	matériaux naturels	dépôts de matériaux de déblais excédentaires (minéraux, terre)	valorisation et recyclage
		végétation, bois non traité	valorisation
	produits manufacturés	béton	Recyclage avec précaution
		emballages, palettes, bidons	valorisation avec précaution
		huiles, graisses, détergents	DIS
	produits hydrocarbonés	fraisats d'enrobés, enrobés, asphalte, enduits superficiels	recyclage avec précaution
		goudron, brais	DIS
	fibres minérales naturelles	Enrobés contenant de l'amiante	recyclage avec précaution vérifier DIS *
	autres matériaux	graves traités aux liants hydrauliques ou bétons	valorisation et recyclage avec précaution
	Entretien et exploitation courants des chaussées	matériaux divers	produits de décolmatage d'enrobés drainants, de grenailage ou d'hydrorégénération
sables de balayage des chaussées			valorisation avec précaution vérifier DIS *
restes de produits absorbants après pollution accidentelle			valorisation avec précaution vérifier DIS *
déchets de produits de marquage			valorisation avec précaution vérifier DIS *
sous produits de l'assainissement		boues de curage de bassins	valorisation avec précaution vérifier DIS *
		produits issus des déshuileurs et des séparateurs à hydrocarbures	DIS
Viabilité hivernale	matériaux d'épandage	sel, sable, mâchefers	valorisation avec précaution vérifier DIS *
Entretien des dépendances	matériaux naturels	végétation (fauchage, élagage)	valorisation
		produits de curage des fossés, accotements	valorisation avec précaution
	autres matériaux	déchets ménagers	valorisation avec précaution
		éléments de glissières, portiques, délinéateurs, panneaux	valorisation avec précaution
		restes d'entretien des ouvrages d'art	valorisation avec précaution
		restes de produits phytosanitaires ou désherbants	DIS
		objets abandonnés	valorisation avec précaution vérifier DIS *
	cadavres d'animaux	poids supérieur à 40 kg	équarrissage
		poids inférieur à 40 kg	enfouissement, incinération
	Entretien des aires de repos	déchets des usagers	déchets d'emballages
restes des produits emballés			DMA

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DIS : Déchets Industriels Spéciaux

- selon degré de nocivité (décret n° 97-517 du 15 mai 1997 relatif à la classification des déchets dangereux, instruction technique du 22 janvier 1980)

Nota : mis à part les DIS, l'ensemble des déchets doit être traité et valorisé ; il faut néanmoins, pour certaines catégories, vérifier la qualité des matériaux et les possibilités de réemploi correspondantes ("valorisation (ou recyclage) avec précaution") ; on doit également dans certains cas vérifier la présence de produits dangereux ("vérifier DIS") avant traitement et valorisation, et le cas échéant, classer en DIS. Enfin, certains produits peuvent être directement valorisés ou recyclés.

ANNEXE C

Gestion des matériaux bitumineux en Suisse

ANNEXE D

Procédés utilisés pour extraire les goudrons

ANNEXE E

Données générales sur les infrastructures routières françaises

ANNEXE F

Suivi quantitatif et qualitatif du réseau pour l'entretien routier

ANNEXE G

La technique du « goudronnage » des chaussées

ANNEXE H

Fiches descriptives des méthodes de détection rapide du goudron

FICHE DESCRIPTIVE DE LA METHODE

DETECTEUR PAR PHOTOLUMINESCENCE

Cet appareil est en cours de validation aux USA.

Principe de fonctionnement

Le détecteur par photoluminescence fonctionne selon deux modes d'utilisation :

- Une longueur d'onde d'excitation fixe permet une quantification de polyaromatiques totaux, voire l'identification des huiles minérales en présence.
- La fluorescence synchrone dans lequel les longueurs d'ondes d'excitation et d'émission sont scannées produisent un spectre simplifié à un pic par produit. Cela permet la séparation des HAP en fonction de leur nombre de noyaux aromatiques.

Sa mise en œuvre se fait directement sur des prélèvements aqueux ou solides, voire sur des sols en place par couplage avec une sonde pénétrométrique.

Mode d'emploi

Document de référence : Conferences Field Screening Methods for Hazardous Wastes and Toxic Chemicals, Las Vegas, 1991 et 1993.

Résultats

La lecture du résultat donne une information uniquement semi-quantitative, soit par une cartographie des teneurs détectées, soit éventuellement un profil de concentration.

Le détecteur de fluorescence, avec excitation laser, monté en pointe d'un pénétromètre statique, permet l'investigation du site ou de l'échantillon en trois dimensions. L'enregistrement simultané des paramètres géotechniques (résistance de pointe et frottements) rend également possible une identification des sols.

Sensibilité

Les seuils de détection dépendent essentiellement des propriétés naturelles à la fluorescence du produit. Les organiques HAP sont aisément détectables en faibles teneurs et la précision peut atteindre quelques %.

Avantages et inconvénients

Il s'agit d'une méthode rapide, peu coûteuse, relativement sensible. Les polluants sont détectables sur les sols en place grâce à une sonde pénétrométrique.

La méthode peut-être sensible aux conditions de gisement du polluant, en l'occurrence le type de sol des enrobés bitumineux. Un contexte physique est recommandé pour la sonde pénétrométrique : sables et graviers. L'utilisation de la méthode est donc restreinte aux granulats bitumineux ou autres résultats de concassage des matériaux.

Normalisation et réglementation

Cet appareil est en cours d'agrément aux USA. Sa commercialisation est prévue prochainement.

FICHE DESCRIPTIVE DE LA METHODE

PAK MARKER

Le « PAK Marker » est un produit développé en 1996 par Rasenberg en coopération avec un producteur de peinture en spray.

Principe de fonctionnement

Le principe consiste en une base de peinture blanche contenant un solvant déterminé pulvérisé en brume sur l'échantillon d'enrobé. Ce solvant dissout les HAP et au séchage, par réaction, fait virer la couleur de la peinture au jaune. Si la couleur de la peinture change, l'enrobé est pollué aux HAP, sinon il y a de forte chance pour qu'il ne le soit pas.

Mode d'emploi

1. Secouer la bouteille quelques minutes jusqu'à ce que les billes sonnent ;
2. Asperger le premier jet de peinture dans l'air pour évacuer le solvant pur ;
3. Asperger une couche régulière sur l'échantillon d'asphalte sec ;
4. Après 10 secondes, la couleur change s'il y a une couche contenant du goudron comme liant ou comme enduits ;
5. Sous les UV, la couche de peinture s'éclaire avec brillance (jaune doré) ;
6. Nettoyer le bec en aspergeant quelques secondes la bouteille la tête en bas.

Résultats

La lecture du résultat est quasi immédiate mais donne une information uniquement qualitative. La peinture déposée sur l'échantillon (surface, tranche ou granulat) change de couleur s'il y a eu réaction avec les HAP.

L'utilisation d'une lampe ultra-violet à longueur d'onde d'excitation fixe permet une lecture par photoluminescence. En effet, certaines molécules ont la propriété d'émettre une photoluminescence (fluorescence ou phosphorescence) lorsqu'elles sont éclairées par une source lumineuse de longueur d'onde donnée (ultra violet à visible).

Sensibilité

Si la coloration se fait immédiatement, on peut présumer que l'échantillon testé contient plus de 10 ppm de HAP (10 HAP hollandais ?) [, 2001 #40].

Le changement de couleur est visible :

- à la lumière Ultra-Violet à partir d'une concentration d'environ 300 ppm,
- à la lumière du jour, au dessus de 500 ppm.

Attention:

Ces concentrations ont été calculées par rapport à l'enrobé (avec 5% de liant) et pour 10 HAP. Une conversion est nécessaire pour prendre en compte le liant et les 16 HAP : $300 \times 20 \times 1.333 = 8000$ ppm [, 2001 #38].

La présence de HAP est démontrée à partir d'environ 120 mg 10 HAP / kg [GLORIE, 1998 #33]

Avantages et inconvénients

Cette méthode est la plus simple et la plus rapide. Elle est peu onéreuse : une bouteille permet de réaliser 20 à 30 essais (jet moyen de 3 secondes). Elle peut s'appliquer directement sur la tranche d'un enrobé ou la surface d'un revêtement.

Le désavantage est la lecture incertaine parfois si la coloration change en jaunâtre peu convaincant. Cette réaction peut être interprétée comme :

- Le séchage de la peinture blanche dans les aspérités du matériau ;
- Une réaction diffuse à des HAP disséminés dans l'enrobé.

L'éclairage en lumière ultra-violet permet souvent de trancher. La surface couverte par la réaction jaune indique l'importance relative de la concentration en HAP.

Normalisation et réglementation

La méthode est autorisée par les règlements environnementaux hollandais [, 2001 #37].

FICHE DESCRIPTIVE DE LA METHODE

PAR SUBLIMATION

Cette méthode a été mise au point par ARBIT en Allemagne et présentée au cours de communication européenne en 2000.

Principe de fonctionnement

Les HAP non substitués ont pour propriété commune de générer des émanations : ils s'évaporent facilement bien que présentant des points d'ébullition élevés. Les HAP solides peuvent s'évaporer par chauffage, sans fondre, et précipiter à nouveau sous forme de cristaux, au contact d'une surface plus froide. Ce phénomène est appelé sublimation.

La sublimation permet de distinguer des substances contenant des HAP, que les HAP soient présents seuls ou en tant que composants d'autres mélanges, par exemple de liant. Les HAP contenu dans les substances s'échappent de manière sélective à des températures relativement basses, soit 100°C.

Les HAP absorbent une partie de l'énergie lumineuse avant de la restituer dans un second temps sous forme de lumière : phénomène appelée la fluorescence. Chaque HAP produit une fluorescence d'intensité et de couleur différente. La longueur d'onde de 366 nm en lumière ultra-violette correspond à l'activité cancérigène du matériau.

La fluorescence aux UV est directement proportionnelle au potentiel cancérigène.

Mode d'emploi

Du liant est déposé dans une éprouvette chauffée à un petit plus de 100°C. La vapeur qui se dégage précipite sur un petit piston interne refroidi à l'eau.

Le précipité est constitué d'un mélange de l'ensemble des HAP présents et confirme ainsi la présence d'HAP sans différenciation de ceux-ci.

Une lampe UV émettant des rayons de 366 nm de longueur d'onde met en évidence la fluorescence des HAP qui révèle par son intensité l'importance de la teneur en HAP.

Sensibilité

Des concentrations d'HAP même très faibles dans les matériaux de démolition se traduisent par une fluorescence après quelques minutes. Lorsque les HAP ne sont contraints de diffuser à travers un revêtement (bitume), la réaction est constatée après 90 secondes à peine.

A température de 150°C et une pression de 500hPa, 10 minute suffisent pour mettre en évidence des taux d'HAP-EPA de 400 mg/kg dans du liant ou de 20 mg/kg dans un matériau de démolition routière.

La distinction des taux d'HAP-EPA supérieurs ou inférieurs à 25 mg/kg est très nette.

Normalisation et réglementation

En Allemagne, depuis 1983, le texte de la norme DIN 55 946 permet de distinguer les bitumes des goudrons qui contiennent des HAP à haute teneur. La teneur en benzo(a)pyrène, principale substance cancérigène des HAP est retenue comme référence. Les mélanges de substances affichant un taux de 50 mg/kg de B(a)P et plus doivent être inscrits dans la liste des produits cancérigènes. Le goudron fait parti de ces produits.

Remarques

La méthode décrite ne tient compte que d'une longueur d'onde UV par choix de fiabilité du résultat. Elle pourrait recourir à l'emploi d'une lumière ultra-violette continue.

FICHE DESCRIPTIVE DE LA METHODE

TACHE AU TOLUENE

Cette méthode a été développée au CRR (Centre de Recherche Routière, en Belgique) dans les années 1980.

Principe de fonctionnement

Le principe consiste à laisser tomber quelques gouttes de toluène sur le bord d'un morceau de matériaux bitumineux (granulats ou débris centimétrique) prélevés sur un échantillon homogène, et placé sur un papier filtre. Le toluène dissout le liant qui s'écoule avec lui sur le papier filtre et forme une tache en auréole autour du morceau.

Mode d'emploi

1. Prélever plusieurs morceaux (nombre recommandé : 25) d'un échantillon homogène ;
2. Déposer ces morceaux sur un papier filtre ;
3. Verser sur les bords quelques gouttes de toluène à l'aide d'une pipette ;
7. Après 15 secondes, une tache s'élargit en auréole autour des morceaux expérimentés. La couleur orangée indique s'il y a une couche contenant du goudron comme liant ou comme enduits ;

Attention: ne pas oublier de refermer le flacon de toluène (solvant volatil et toxique) après chaque prélèvement.

Résultats

La lecture du résultat est quasi immédiate mais donne une information uniquement qualitative. Si le liant est composé de bitume, la tâche est de couleur brune. Par contre si le liant est composé de goudron ou d'un mélange à base de goudron, la tâche comporte une auréole de couleur orangée.

Il est conseillé de renouveler l'essai sur environ 25 morceaux extraits de l'échantillon.

Le résultat peut-être exprimé en x/y réponses positives, où y est le nombre de débris testés et x le nombre de réaction où la tache est orangée et indique la présence de goudron [GLORIE, 1998 #33].

Sensibilité

Cette méthode s'avère suffisamment sensible pour détecter la présence de goudron lorsque la préparation et la réduction de l'échantillon de départ en 25 morceaux sont effectuées avec attention. Le seuil de détection se situe à 120 mg 10 HAP / kg [GLORIE, 1998 #33].

Avantages et inconvénients

La méthode de la tache de toluène est très simple, très rapide et ne requiert que peu de moyen.

Les quelques gouttes du solvant (toluène) s'évapore rapidement.

La coloration plus ou moins affirmé des auréoles ne permet cependant pas de déterminer des classes de concentrations HAP.

Normalisation et réglementation

Cette méthode de détection de goudron dans les mélanges en enrobés hydrocarboné est décrite dans la circulaire 225/921006 du Ministère de la Communauté flamande, Dept. LIN de 1992 et également dans la circulaire AWA/178-95/150 du Ministère wallon de l'Équipement et des Transport, D.G.I. de 1995.

ANNEXE I

Résultats détaillés des analyses quantitatives des HAP (HPLC)

RECAPITULATIF DES ANALYSES QUANTITATIVES
des 16 HAP de l'US E.P.A. (mg/kg)

REFERENCE	01CT552	01CT553	01CT554	01CT555	01CT556	01CT557	01 CT 558	01 CT 559	01CT869	01CT871	01CT879	01CT881	01CT883	01CT884	01CT885	01CT886
Naphtalène	< 0,50	< 0,30	< 0,30	0,37	< 0,30	0,46	non détecté	0,67	<0,2	<3	<0,2	<0,2	0,25	1,1	0,22	112
Acénaphthylène	non analysé	non détecté	non détecté	<0,4	<5	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	1,0	290					
Acénaphthène	0,22	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	non détecté	0,96	<0,1	<0,7	<0,1	<0,06	<0,06	0,15	0,07	43
Fluorène	0,30	0,06	0,04	0,18	0,06	0,06	< 0,07	0,94	<0,03	<0,3	0,02	<0,03	0,15	0,80	0,40	328
Phénanthrène	2,40	0,46	0,36	0,61	0,51	0,41	0,11	0,31	0,30	<0,3	0,02	0,05	0,55	2,10	2,30	1450
Anthracène	0,78	0,02	0,02	0,10	0,02	0,05	0,02	0,06	0,10	<0,1	0,02	<0,01	0,10	0,15	0,70	377
Fluoranthène	6,50	0,11	0,10	0,42	0,23	0,15	non détecté	non détecté	0,08	<0,8	<0,07	<0,07	0,40	0,60	2,60	1812
Pyrène	4,50	non détecté	non détecté	0,42	0,24	non détecté	non détecté	non détecté	<0,30	<3	<0,2	<0,2	0,30	0,60	1,80	985
B(a)A	2,20	0,06	0,04	0,14	0,06	0,10	non détecté	0,05	<0,07	<0,7	<0,06	<0,06	0,12	0,13	0,90	568
Chrysène	2,60	0,18	0,26	0,29	0,21	0,25	non détecté	0,20	0,30	<0,2	0,02	0,05	0,15	0,43	1,00	480
B(b)F	2,70	0,08	0,08	0,14	0,10	0,09	< 0,10	< 0,10	0,15	<0,4	<0,04	<0,04	0,10	0,27	0,93	340
B(k)F	1,20	0,05	0,03	0,07	0,02	0,05	non détecté	non détecté	0,02	<0,1	0,02	0,01	0,06	0,10	0,44	232
B(a)P	2,60	< 0,01	< 0,01	0,13	0,08	< 0,01	non détecté	non détecté	0,02	<0,2	0,02	<0,02	0,10	0,27	0,93	567
D(a,h)A	0,55	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	non détecté	non détecté	<0,04	<0,4	<0,03	<0,03	0,04	<0,03	0,20	67
B(g,h,i)P	2,40	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,38	non détecté	0,36	0,40	<0,3	<0,02	0,04	0,07	0,24	0,42	203
In (1,2,3,c,d)P	1,90	non détecté	non détecté	<0,2	<2	<0,2	<0,2	0,07	0,14	0,59	270					
Total 16 HAP	30,85	1,07	0,93	2,87	1,53	2,00	0,13	3,55	1,37	< 17,5	0,12	0,15	2,46	7,08	14,5	8124
Défaut - Excès	31,35	1,46	1,37	3,00	1,96	2,12	0,30	3,65	2,71		1,44	1,47	2,92	7,51		

ANNEXE J

Les hydrocarbures Aromatiques Polycycliques Danger pour la santé humaine

PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE

Travail	Nom	Qualité	Date	Visa
Rédacteurs	C. BRAZILLET J. DOMAS	Ingénieurs DESP	01/02/2002	
Responsable d'affaire	J. DOMAS	Ingénieur DESP	01/02/2002	
Relecteur	G. PEPIN	Ingénieur DESP	01/02/2002	
Vérificateur	BAROUDI	Responsable DESP	01/02/2002	
Approbateur	NOMINE	Délégué scientifique	01/02/2002	

 **Fin du Complément non destiné au client** 