

Les
ressources



NOTE D'INFORMATION

HYDROCARBURES

AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

**Une méthode de quantification adaptée
aux agrégats d'enrobés**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INTRODUCTION

Dans un contexte d'économie circulaire fort, la réutilisation des agrégats d'enrobés (AE) issus du fraisage pour la fabrication de nouveaux enrobés représente une démarche environnementale attractive. Cependant ces déchets routiers sont soumis à une réglementation définissant un seuil d'acceptabilité en dessous duquel le recyclage à chaud est autorisé. En effet, c'est lors du recyclage à chaud que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) vont s'extraire de la matrice bitumineuse et être libérés dans l'air, représentant alors un risque pour la santé des travailleurs exposés à ces fumées.

Il est donc important que la méthodologie utilisée pour la détermination de ces polluants au sein des AE soit la plus représentative possible. C'est pourquoi nous présentons dans cette note d'information une méthode de quantification des HAP par Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP), adaptée aux spécificités des AE. Si la méthode présentée s'inspire de la norme NF EN 15527 relative à la caractérisation des déchets, elle vient décrire des conditions opératoires et chromatographiques optimisées pour une séparation et une quantification optimale des HAP dans les AE.

De plus, cette méthode vise à initier une réflexion sur la représentativité d'un résultat dont l'exactitude va déterminer le choix de la filière de valorisation la plus adaptée à la gestion de ces déchets, tout en maîtrisant les effets sur la santé et l'environnement. Des études complémentaires devront être menées afin d'arriver à une harmonisation des pratiques.

SOMMAIRE

1 ■ Contexte et enjeux	p 4
2 ■ Objectif et domaine d'application	p 5
3 ■ Principe	p 5
4 ■ Produits chimiques utilisés dans la méthode	p 5
5 ■ Appareillages	p 5
6 ■ Mode opératoire	p 6
7 ■ Calculs et expression des résultats	p 11
8 ■ Répétabilité de l'analyse à partir de la prise d'essai	p 11
9 ■ Procès verbal	p 11
Références bibliographiques	p 12
Glossaire	p 12
Liste des abréviations	p 12

1. CONTEXTE ET ENJEUX

Les agrégats d'enrobés (AE) issus de la démolition d'enrobés bitumineux recèlent un potentiel de propriétés techniques qu'il est important de valoriser. Dans un contexte d'économie circulaire fort, leur réutilisation pour la fabrication de nouveaux enrobés représente une démarche environnementale attractive qui permet de préserver les ressources naturelles.

Cependant ces AE sont soumis à la réglementation sur la gestion des déchets qui définit des **seuils de teneurs en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** à la fois pour le recyclage des enrobés et pour leur mise en décharge dans des installations adaptées. L'arrêté du 12 décembre 2014 énonce les critères d'admission de produits en installation de stockage de déchets inertes et fixe un seuil d'acceptabilité à 50 mg de HAP totaux par kg de déchet sec. En dessous de cette valeur limite, le recyclage à chaud est autorisé. En effet, c'est lors du recyclage à chaud que la problématique des HAP se pose le plus car, lors de la fabrication à température élevée et sous agitation, ces composés organiques vont pouvoir s'extraire de la matrice bitumineuse et être libérés dans l'air sous forme de vapeurs et/ou d'aérosols. Ils repré-

sentent alors un risque pour la santé des travailleurs qui sont exposés à ces fumées. La présence potentielle de ces HAP dans les AE peut être liée à la présence de goudron dans la matrice hydrocarbonée constitutive de la chaussée. Utilisé pendant longtemps en France en technique routière, le goudron, contrairement au bitume, est composé par de nombreux HAP (10 à 50 % en masse). Comme il n'existe aucune traçabilité sur la nature et les proportions de ces matériaux en place dans le réseau routier français, **il est possible de retrouver encore aujourd'hui du goudron dans la masse des enrobés, en émulsion entre deux couches intermédiaires ou en enduit de revêtement** (Ineris, 2001). Les HAP généralement mesurés correspondent aux 16 composés, référencés par l'agence de protection environnementale américaine comme étant des polluants prioritaires pour l'homme et l'environnement. Certains d'entre eux, comme le Benzo(a)pyrène, sont classés par le centre international de recherche contre le cancer comme cancérogènes avérés pour l'homme. C'est pourquoi la quantification de ces HAP potentiellement présents dans les AE doit être la plus représentative possible.



Agrégat d'enrobé

2. OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION

Le présent mode opératoire décrit une méthode de dosage des HAP par CLHP, adaptée aux AE. Même si d'autres méthodes d'analyses existent dans des laboratoires d'analyses, nous proposons dans ce document des **conditions opératoires et chromatographiques optimisées pour une séparation et une quantification optimale des HAP dans les AE**. De plus, nous travaillons sur l'échantillon de départ sans le modifier, car nous ne connaissons pas l'impact d'un pré-traitement (tamisage ou broyage) sur la teneur finale en HAP. Enfin, nous suggérons, d'exprimer la teneur en HAP par rapport à la quantité de liant soluble présente dans les mélanges bitumineux et déterminée selon la norme NF EN 12 697-1. Ce pourcentage de liant présent dans le kilo d'AE permettra d'obtenir une concentration en HAP plus représentative de l'échantillon, car s'il y a des HAP, ils sont exclusivement présents dans la matrice hydrocarbonée.

3. PRINCIPE

Le dosage des HAP est effectué par CLHP couplée à une détection par spectrophotométrie ultraviolette à barrette de diodes (UV-DAD) et par spectrofluorimétrie. La préparation des échantillons représente l'étape la plus déterminante du processus analytique. Elle consiste à prélever une prise d'essai homogène d'AE, et représentative du lot, sans modification de l'échantillon de départ. Le liant, contenant potentiellement les HAP, est extrait de l'AE par chauffage à reflux avec le dichlorométhane dans un extracteur de type Soxhlet. L'extrait obtenu est purifié sur micro-colonne puis analysé par CLHP.

Le dosage quantitatif concerne les 16 HAP définis comme étant des polluants prioritaires par l'agence de protection environnementale américaine, l'US EPA. Cependant, si la détection est effectuée par spectrofluorimétrie, seulement 15 HAP seront quantifiés car l'Acénaphthylène ne fluoresce pas.



4. PRODUITS CHIMIQUES UTILISÉS

- Méthanol (qualité analytique CLHP)
- Dichlorométhane (qualité analytique CLHP)
- Acétonitrile (qualité analytique CLHP)
- Solutions étalons (utiliser de préférence des HAP certifiés en produits purs ou en mélange)
- Eau ultrapure

5. APPAREILLAGES

Pour la préparation des échantillons et des extraits

- Mortier de laboratoire
- Diviseur de laboratoire
- Balance précise au mg près
- Extracteur Soxhlet composé par exemple d'un ballon à distiller à fond rond de 250 ml, d'une cartouche en cellulose de 27 mm x 100 mm, d'un réfrigérant et d'un chauffe-ballon
- Évaporateur rotatif
- Billes de verre
- Micro-colonne prête à l'emploi de type Sep-Pak Silica ou Florisil (2 g / 6 ml)
- Filtres seringues de 0,45 µm
- Petit matériel de laboratoire (spatules, fioles jaugées, gants de protection...)
- Sorbonne



6. MODE OPÉRATOIRE

Traitement des échantillons

Pré-traitement des échantillons d'AE

Un traitement préliminaire des échantillons réceptionnés au laboratoire est nécessaire si celui-ci arrive sous forme d'une carotte d'AE. Dans ce cas, il faudra chauffer l'échantillon afin de pouvoir le déliter et le manipuler. Une prise d'essai de 15 à 20 g d'AE sera réalisée grâce à l'utilisation de plusieurs diviseurs de laboratoire permettant de fractionner successivement l'échantillon de départ jusqu'à obtenir notre prise d'essai. **Ce pré-traitement permet de travailler sur la totalité de l'échantillon et d'obtenir une prise d'essai représentative de l'échantillon de départ souvent très hétérogène.** Cependant, il faudra effectuer, sur l'échantillon de départ reçu au laboratoire, une détermination de la teneur en liant soluble suivant la norme NF EN 12 697 1, afin de pouvoir in fine rapporter la quantité de HAP mesurée dans le liant extrait à la quantité de HAP présente dans le kilo d'AE. Le résultat est exprimé en % et sera noté (Be).

Extraction de type Soxhlet

La prise d'essai d'AE est introduite dans une cartouche en cellulose pour une extraction de type Soxhlet, qui consiste à extraire par distillation à reflux le liant susceptible de contenir les HAP de l'AE. **Le solvant contenu dans le ballon à distiller est le dichlorométhane auquel on ajoute quelques billes de verre afin de réguler l'ébullition.** L'extraction est réalisée à 30/40 °C avec deux fois 100 ml de dichlorométhane pendant une durée de 12 à 16 h selon l'échantillon. L'extrait est ensuite concentré par distillation sous vide avec une pression de 600 millibars et à basse température ne dépassant pas 40 °C. Le séchage quasiment à sec de l'extrait est poursuivi grâce à une évaporation sous température ambiante du solvant jusqu'à obtenir la Matière Organique Extractible (MOE)

Pour l'analyse en CLHP

- Pompe CHLP permettant de travailler en mode gradient
- Système d'injection à boucle
- Pré-colonne et colonne analytiques spécifiques au dosage des HAP. La phase stationnaire utilisée fonctionne en mode inverse de type silice greffée octadécyle C18 et nécessite une phase mobile polaire. L'utilisation d'une pré-colonne (colonne de garde) s'avère utile pour allonger la durée de vie de la colonne d'analyse.
- Un système de détection par spectrophotométrie ultraviolette à barrette de diodes (domaine spectral compris entre 190 nm et 800 nm) permettant d'obtenir des chromatogrammes à une longueur d'onde donnée.
- Un système de détection par spectrofluorimétrie permettant de travailler à des concentrations plus faibles
- Un logiciel d'acquisition et de traitement des chromatogrammes permettant d'intégrer les aires des pics des HAP détectés

Traitement des extraits

Le traitement sur micro-colonne ou cartouche Sep-Pak de type Silica ou Florisil proposé ci-après permet **d'éliminer certains composés**, notamment polaires, susceptibles d'interférer sur le chromatogramme CLHP avec les HAP recherchés.

Séparation/purification sur micro-colonne

Une quantité de MOE, notée M1, proche de 12 mg est dissoute dans 3 ml de dichlorométhane puis introduite à l'aide d'une seringue, en tête de la micro-colonne Sep-Pak (modèle 1 ml), préconditionnée avec 4 ml de dichlorométhane. La solution est ensuite éluée avec 10 ml de dichlorométhane. L'éluat ainsi récupéré est concentré jusqu'à 1 ml par évaporation du solvant à température ambiante puis transféré dans une fiole jaugée de 5 ml, complétée avec de l'acétonitrile. La solution est filtrée sur des filtres seringues à 0,45 µm avant d'être analysée en CLHP.

Analyse

La CLHP fournit des informations qualitatives et quantitatives. Cependant, pour atteindre une identification spécifique et individuelle des HAP ainsi que leurs quantifications, il est nécessaire au préalable de **calibrer les détecteurs** par la méthode de l'étalonnage externe.

Étalonnage externe

L'étalonnage externe consiste à préparer, à partir d'une solution mère de référence, différentes dilutions successives, permettant d'établir une courbe d'étalonnage avec au moins 4 points de référence, y compris le blanc de solvant. À l'origine, cette solution mère de référence est issue de la dilution d'une solution commerciale certifiée, se présentant sous forme d'ampoule scellée à usage unique de 1 ml. Elle est constituée d'un mélange des 16 HAP listés par EPA (cf. tableau 1) en solution dans un mélange méthanol / dichlorométhane (50/50) et de concentration globale en HAP de 5,8 mg/ml.

Chacun des 16 HAP a une concentration connue et variable suivant le HAP concerné exprimée en µg/ml. Afin de travailler avec un volume suffisant pour procéder à des analyses, nous réalisons une dilution de la solution étalon initiale.

Cette nouvelle solution de concentration totale en HAP égale à 0,58 mg/ml sert de solution mère et permettra de faire de nouvelles dilutions avec le mélange méthanol/dichlorométhane (50/50) utilisé comme solvant de dilution.

Afin d'encadrer au mieux le seuil des 50 mg de HAP/kg de déchet sec, correspondant à une concentration « totale » des 16 HAP, une gamme d'étalonnage est proposée ci-dessous. Cette large gamme d'étalonnage tient compte de la teneur en liant présente dans l'AE et pouvant varier de 1 à 4,6 %.

NOM	NOMBRE DE CYCLES	FORMULE CHIMIQUE	N°CAS
Naphtalène	2	C ₁₀ H ₈	91-20-3
Acénaphthylène	3	C ₁₂ H ₈	208-96-8
Acénaphtène		C ₁₂ H ₁₀	83-32-9
Fluorène		C ₁₃ H ₁₀	86-73-7
Anthracène		C ₁₄ H ₁₀	120-12-7
Phénanthrène		C ₁₄ H ₁₀	85-01-8
Fluoranthène	4	C ₁₆ H ₁₀	206-44-0
Pyrène		C ₁₆ H ₁₀	50-32-8
Benzo(a)anthracène		C ₁₈ H ₁₂	56-55-3
Chrysène	5	C ₁₈ H ₁₂	218-01-9
Benzo(a)pyrène		C ₂₀ H ₁₂	50-32-8
Benzo(b)fluoranthène		C ₂₀ H ₁₂	205-99-2
Dibenzo(ah)anthracène		C ₂₂ H ₁₄	53-70-3
Benzo(k)fluoranthène	6	C ₂₀ H ₁₂	207-08-10
Benzo(ghi)pérylène		C ₂₀ H ₁₂	191-24-2
Indeno(1,2,3-cd)pyrène		C ₂₂ H ₁₂	193-39-5

Tableau 1 • Liste des 16 HAP retenus par EPA

Ainsi, pour une boucle d'injection de 5 µl, la gamme d'étalonnage utilisée est la suivante :

- dilution au 3/5 : concentration globale en HAP = 348 µg/ml
- dilution au 2/5 : concentration globale en HAP = 232 µg/ml
- dilution au 1/5 : concentration globale en HAP = 116 µg/ml
- dilution au 1/25 : concentration globale en HAP = 23,2 µg/ml
- dilution au 1/50 : concentration globale en HAP = 11,6 µg/ml
- dilution au 3/200 : concentration globale en HAP = 8,7 µg/ml
- dilution au 1/100 : concentration globale en HAP = 5,8 µg/ml
- dilution au 3/500 : concentration globale en HAP = 3,48 µg/ml
- dilution au 1/500 : concentration globale en HAP = 1,16 µg/ml

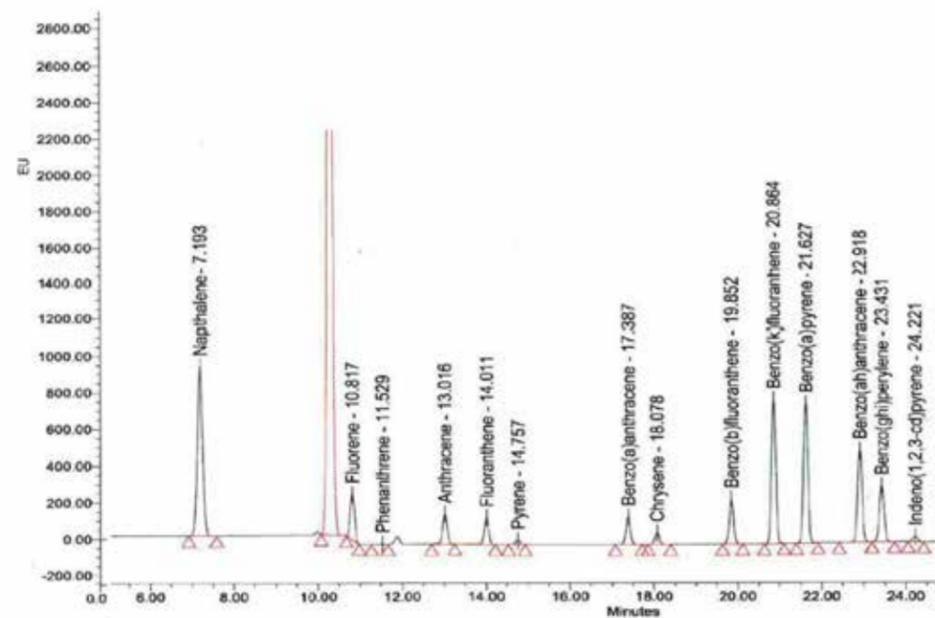


Figure 1 • Chromatogramme des 16 HAP contenus dans une solution étalon

Les solutions de dilutions de 3/5 à 1/25 sont analysées et détectées par UV alors que les solutions de dilutions de 1/50 à 1/500 le sont par fluorescence. Toutes ces solutions sont conservées au réfrigérateur et à l'abri de la lumière.

Cet étalonnage s'effectue avant une campagne d'analyses. Par la suite, des vérifications régulières avec un seul niveau de concentration s'effectuant avant l'analyse de chaque série d'échantillons permettront de vérifier la validité du domaine de linéarité et la nécessité ou pas de refaire une calibration.

Un exemple de chromatogramme obtenu à partir d'une solution étalon des 16 HAP est présenté ci-dessus.

L'enregistrement des courbes d'étalonnages pour chacun des HAP, et ce, pour un volume injecté constant, permet dans un premier temps :

- d'identifier le temps de rétention et la signature spectrale respective à chaque HAP. La signature spectrale individuelle à chaque HAP correspond au spectre obtenu sur toute la gamme de longueurs d'ondes (190 - 800 nm) en UV ;
- de relier la concentration en HAP en fonction de l'aire (ou de la hauteur) du pic du HAP considéré selon l'équation suivante : $Y = a \cdot x + b$ avec a le coefficient directeur de la courbe d'étalonnage et $b = 0$ (la courbe passe par l'origine).

Dans un deuxième temps, l'injection du même volume de l'échantillon à analyser permettra, à l'aide de l'intégration de l'aire de pic reportée sur la courbe d'étalonnage, de connaître la concentration recherchée en chaque HAP.

Conditions chromatographiques optimisées

Les conditions chromatographiques pourront être optimisées en fonction de l'appareillage disponible. Les conditions données ci-dessous ont été proposées pour optimiser la séparation chromatographique des HAP :

- colonne chromatographique spécialement conçue pour l'analyse des HAP fonctionnant en phase inverse. Il s'agit d'une colonne Waters PAH C18, S-5 µm, de 250 mm de long et de 4,6 mm de diamètre intérieur ;
- volume de la boucle d'injection de 5 µl ;
- débit de l'éluant de 1,5 ml/min ;
- température de 30 °C ;
- temps d'analyse de 35 min ;
- programme du gradient d'éluant (cf. tableau 2)

longueurs d'onde d'absorption du détecteur à barrette de diodes (UV) : 190 – 800 nm. On notera que la détection peut se faire, aussi bien, sur une longueur d'onde fixe que sur toute la gamme de longueur d'onde (190 - 800 nm). La longueur d'onde de 254 nm est celle généralement retenue pour la détection et la quantification des HAP. La gamme de longueur d'onde permet d'établir pour chaque HAP et pour un temps de rétention donné l'empreinte spectrale individuelle à chaque HAP.

Programme de changements de longueur d'onde et de gain optimisé pour une détection par fluorimétrie (cf. tableau 3)

Temps (min)	0	5	20	32	45
Gradient	50/50	50/50	100/0	50/50	50/50
Éluant	acétonitrile / eau				

Tableau 2 • Programme du gradient d'éluant utilisé

Changement	Temps (min)	λ ex. / λ em.	gain
0 (initial)	0	224/330	1
1	11	270/323	1
2	13,5	260/380	100
2-bis	14,7	260/380	10
3	15,7	270/400	100
3-bis	16,55	270/400	1
4	18,5	270/385	10
5	21,2	280/410	10
6	24,5	270/466	100

Tableau 3 • Programme utilisé pour une détection par fluorimétrie

Dosage

Injecter les solutions étalons et les échantillons suivant les mêmes conditions analytiques. Un exemple de rapport d'analyse avec le chromatogramme obtenu des 16 HAP contenus dans un extrait d'AE est présenté en figure 2.

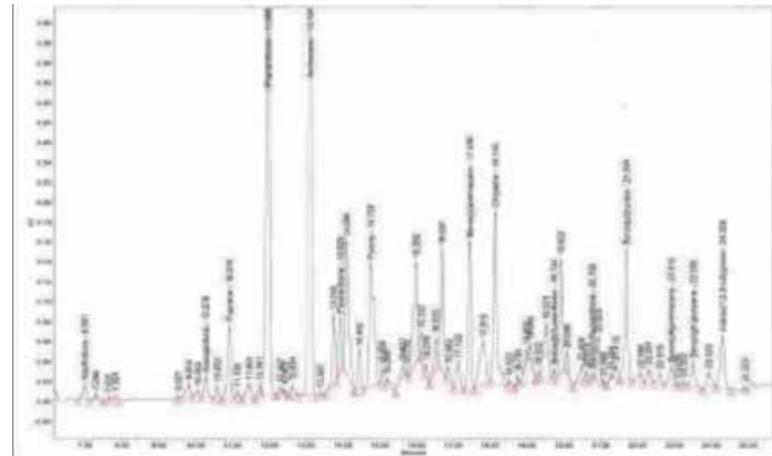
À partir du chromatogramme de l'échantillon obtenu, les HAP sont, dans un premier temps, reconnus automatiquement par le logiciel sur la base de leurs temps de rétention déterminés

grâce aux solutions d'étalonnage. Dans un deuxième temps, la confirmation de l'identité et de la pureté du pic de chaque HAP dans l'échantillon à analyser est réalisée par comparaison de son spectre UV obtenu sur toute la gamme de longueurs d'ondes (190 - 800 nm) avec celui du HAP correspondant obtenu pour les solutions étalons. À partir de la courbe d'étalonnage déjà établie, il sera possible d'estimer la concentration en HAP dans l'échantillon d'AE bitumineux.

RAPPORT D'ESSAI INDIVIDUEL

NOM DE L'ECHANTILLON : Agrégats d'enrobés bitumineux	APPAREILLAGE : Waters 2695 système Alliance Waters 2996 UV à barrette de photodiodes Waters 2475 Fluorescence multi
DATE D'ACQUISITION : 06/02/1014	METHODE : HAP méthode set
OPERATOR : A. PEVERE	VOLUME INJECTE : 5 µL TEMPS D'ANALYSE : 35 min

Figure 2 • Exemple d'un rapport d'essai avec le chromatogramme obtenu des 16 HAP contenus dans un extrait d'AE



Name	Retention time (min)	Area (µV*sec)	%Area	Height (µV)
Naphtalene	7.286	38732	0.2	4597
Acenaphtylene	8.5	ND*		
Acenaphtene	10.294	ND*		
Fluorene	10.919	450943	2.31	71780
Phenanthrene	11.966	42022723	21.54	718283
Anthracene	13.104	2706265	13.87	434960
Fluoranthene	14.096	88057	4.51	133085
Pyrene	14.758	1161524	5.95	123308
Benzo(a)anthracene	17.456	829675	4.25	146528
Chrysene	18.143	1121482	5.75	172653
Benzo(b)fluoranthene	19.922	598201	3.07	113122
Benzo(k)fluoranthene	20.929	225208	1.15	42948
Benzo(a)pyrene	21.694	755189	3.87	131929
Benzo(ah)anthracene	22.918	ND*		
Benzo(ghi)perylene	23.506	174754	0.90	23576
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	24.305	414586	2.12	51529

* : non détecté

7. CALCULS ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

En supposant que l'aire ou la hauteur du pic se situe dans la plage de linéarité de la méthode de mesure, le résultat quantifié pour une substance identifiée peut être obtenu à l'aide des équations suivantes :

Calcul de la concentration C_i' en µg de chaque HAP par ml

$$C_i' = \frac{A_i}{a} \times \frac{V_f}{V_i}$$

A_i est l'aire (ou la hauteur) de pic du chromatogramme pour chaque HAP considéré.

a est le coefficient directeur de la courbe d'étalonnage pour le HAP considéré.

V_i est le volume injecté (ex : 5 µl).

V_f est le volume de la fiole jaugée (ex : 5 ml).

Or dans le V_f correspond une quantité de MOE prélevée pour la purification sur cartouche M_1 (par ex : 20 mg).

Calcul de la concentration pour chaque HAP (C_i) par kg d'AE

$$C_i = \frac{C_i' \times B_1}{M_1}$$

B_1 est la quantité de liant hydrocarboné présent dans un kg d'AE déterminée suivant la norme NF EN 12 697 1.

8. RÉPÉTABILITÉ DE L'ANALYSE À PARTIR DE LA PRISE D'ESSAI

La répétabilité de l'analyse à partir de cinq prises d'essais a été estimée entre 3 à 15 %. En effet, certains matériaux de l'échantillon de départ sont parfois très hétérogènes et ne permettent que difficilement d'établir des sous-échantillons homogènes.

9. PROCÈS VERBAL

Le rapport d'essai doit au-moins contenir les informations suivantes (cf. figure 2 page ci-contre) :

- nom ou code des échantillons avec toutes les informations se rapportant à son marquage ;
- coordonnées de la personne ou de l'organisme qui a demandé les essais ;
- date de la demande et de la réception des échantillons ;
- nom du laboratoire réalisant les essais ;
- dates des essais ;
- méthode d'identification utilisée ;
- type de HAP identifié dans les AE ;
- solution commerciale utilisée comme étalon ;
- conditions d'analyses si elles sont différentes de celles décrites dans cette méthode d'essai ;
- résultats des mesures exprimés sous forme de la moyenne de deux essais.

Références bibliographiques

- **Méthode 610**, US Environmental Protection Agency, 1984
- Afnor. Norme NF EN 12 697 1 : **Mélanges bitumineux – Méthodes d’essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 1 : teneur en liant soluble**. 2012
- Afnor. Norme NF EN 15 527 : **Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les déchets par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CG/SM)**

Glossaire

Chromatogramme : il s’agit du résultat d’une chromatographie, souvent sous forme d’un diagramme avec la concentration du soluté en ordonnée et le temps ou le volume d’élution en abscisse.

Chromatographie : c’est une méthode qui permet de séparer les différentes substances présentes dans un mélange (soluté) par leur différence de vitesse de migration lorsqu’elles sont entraînées par une phase mobile (gaz porteur ou éluant) qui transite dans une phase fixe (liquide ou solide).

Eau ultrapure : elle contient exclusivement des molécules d’eau et les ions associés en équilibre. Fluorimétrie ou Spectrofluorimétrie : c’est un type de spectroscopie électromagnétique (étude du spectre) qui analyse la fluorescence d’un échantillon après excitation par un flux de lumineux.

Soxhlet : l’extracteur de type Soxhlet est un dispositif de verrerie qui permet l’extraction solide-liquide par solvant d’espèces chimiques contenues dans un solide.

Liste des abréviations

HAP (PAH) : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

US EPA : United States Environmental Protection Agency ou agence de protection environnementale américaine

AE : Agrégats d’enrobés

MOE : Matière Organique Extractible

CLHP : Chromatographie Liquide Haute Performance

UV-DAD : UltraViolet Diode Array Detector ou spectrophotométrie ultraviolette à barrette de diodes

HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

Une méthode de quantification adaptée aux agrégats d'enrobés



CONTRIBUTEURS

Ce document a été rédigé par :

Audrey Pevere (Cerema)

Virginie Mouillet (Cerema)

Valérie Battaglia (Cerema)

En collaboration avec :

Pierre Doumenq et Laurence Asia

(UMR CNRS 7376 de l'Université d'Aix-Marseille)



EXPERTISE & INGÉNIERIE TERRITORIALE | BÂTIMENT
| MOBILITÉS | INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT |
ENVIRONNEMENT & RISQUES | MER & LITTORAL



www.cerema.fr

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Siège social : Cité des mobilités - 25 avenue François Mitterrand - CS 92803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30 - Achevé d'imprimer : Février 2022 - Dépôt légal : Février 2022 - ISSN : en cours - Imprimeur : Jouve - Tél : 01 44 76 54 40 / Conception graphique : Farénis / Crédits photos : Istock - Pixabay