

EXPOSITION ET EMISSIONS LORS DE LA PRODUCTION ET LA POSE D'ENROBE BITUMEUX TIEDE

Michael LECOMTE
 Société des Pétroles Shell, Colombes, France
 François DEYGOUT
 Shell Global Solutions, Petit-Couronne, France
 Karel PONCELET
 NV Belgian Shell SA, Bruxelles, Belgique

Résumé

Produire des enrobés bitumineux à plus basse température présente un intérêt non négligeable pour la réduction du niveau des émissions dans l'environnement, de l'exposition des travailleurs aux émanations et de la consommation d'énergie. L'objectif de cette étude est de les comparer d'une part lors d'une production classique d'enrobés à chaud et d'autre part lors d'une production d'enrobés tièdes selon le procédé Shell WAM-Foam. En octobre 2006, une campagne de mesure a été menée pendant le chantier de la voie rapide Firenze-Pisa-Livorno en Italie. On a mesuré plusieurs émanations gazeuses (CO₂, CO, NOx, SO₂) et poussières minérales émises à la cheminée de la centrale d'enrobage pendant les fabrications. Par ailleurs, on a également mesuré des émissions à trois endroits de la centrale d'enrobage. Enfin, les personnes qui appliquaient l'enrobé ont été équipées d'échantillonneurs individuels afin de mesurer leurs niveaux d'exposition. On a ainsi mesuré les aérosols totaux (Total Particulate Matter) réparties en Fraction Minérale et en Fraction Soluble dans le Benzène (Benzene Soluble Fraction), ainsi que les Fractions Volatiles et certains Composés Cycliques Aromatiques. Par rapport à l'enrobé classique, les résultats obtenus avec l'enrobé tiède mettent en évidence une réduction importante de l'exposition des travailleurs aux aérosols organiques, mais aussi des émissions dans l'atmosphère (dont les Gaz à Effet de Serre) ainsi que la consommation d'énergie.

Samenvatting

De productie van asfalt bij lagere temperaturen geeft een aanzienlijke verlaging van de emissies in het milieu, blootstelling van werknemers en verlaging van het energieverbruik. Het doel van deze studie is het vergelijken van enerzijds de productie van klassiek heet asfalt en anderzijds de productie van asfalt bij lage temperatuur volgens de Shell WAM Foam technologie. Tijdens Oktober 2006 werden metingen uitgevoerd tijdens het werf van de Firenze-Pisa-Livorno snelweg in Italië. Wij hebben verschillende emissies gemeten (CO₂, CO, NOx, SO₂ en fijn stof) in de schoorsteen van de asfaltcentrale tijdens de productie van laag temperatuur asfalt en klassiek heet asfalt. Er werd eveneens op drie verschillende plaatsen in de asfaltcentrale gemeten. Tevens werd de plaatsingsploeg voorzien van een pomp en filter. Voor de meting van de blootstelling werd het totale Particulate Matter uitgesplitst in de minerale fractie, de in Benzeen oplosbare fractie, de vluchtige fractie en bepaalde aromatische koolwaterstof verbindingen. In vergelijking met een klassiek asfalt, de resultaten bekomen met laag temperatuur asfalt tonen een aanzienlijke verlaging aan van de blootstelling van de werknemers aan de Particulate Matter, emissies in de open lucht (broeikasgassen) en energie verbruik.

1. INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années déjà, l'industrie routière s'efforce de réduire les températures de production et d'application des enrobés bitumineux. Le premier avantage qui en résulte est la diminution de la consommation énergétique requise pour la production des enrobés et donc des émissions liées au gaz de combustion. A la baisse de la température du bitume s'associe automatiquement une réduction des émissions provenant du bitume lui-même. Il en résulte une plus faible exposition des travailleurs sur le site de la centrale d'enrobage et lors de la pose de l'enrobé.

Dans le procédé traditionnel à chaud, des températures de production de l'ordre de 160 à 170°C sont requises pour réduire la viscosité du liant bitumineux permettant ainsi un bon enrobage des granulats et une bonne maniabilité lors de la pose et le compactage de l'enrobé. Un bon séchage des granulats, un bon enrobage des fractions minérales et un bon compactage sont trois conditions essentielles pour garantir une bonne durabilité du revêtement exposé au trafic et aux fluctuations du climat. De nombreuses publications expliquent comment on obtient la même durabilité en travaillant à des températures intermédiaires (80 °C to 120 °C) [Ref. 1-15].

Ces températures intermédiaires sont d'un intérêt tout particulier. En effet à des températures plus basses, par exemple à 60-70 °C, le liant sous forme anhydre présente une viscosité telle que l'enrobé devient impossible à mettre en oeuvre et à compacter. Les techniques à l'émulsion présentent, elles aussi, des défis à surmonter tels que l'enrobage des fractions les plus grosses, la compacité, la montée en cohésion et la performance ultime de l'enrobé. Pour les technologies ciblant des plages de température excédant les 130 °C, les économies en énergie deviennent assez faibles. Par contre, juste au-dessus des 100°C, le séchage des granulats se produit de façon satisfaisante pour permettre une bonne adhésion du bitume au support minéral. La technique de double enrobage du procédé WAM-foam garantit quant à elle le bon enrobage et la bonne maniabilité de l'enrobé. L'objet de cet article se limitant aux aspects exposition et émissions, on conseille au lecteur intéressé par ces aspects, de consulter les références citées en fin d'article.

Ce papier décrit les mesures réalisées sur le site de Conglobit (Florence – Italie) pendant la production d'enrobé tiède (Warm Asphalt Mixture) avec de la mousse de bitume selon le procédé breveté Shell WAM-Foam [Ref 7]. Des productions d'enrobé classique à chaud ont été réalisées pour servir de référence. Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

- Comparer l'exposition des travailleurs lors la mise en œuvre avec les deux types d'enrobés ;
- Comparer les émissions générées en centrale par les deux types d'enrobés.
- Comparer les consommations d'énergie (gaz) pendant les différentes modalités.

On précise dès à présent que, pour les deux types d'enrobé, les valeurs mesurées sont bien en dessous des limites d'expositions professionnelles ou environnementales. Les deux procédés tels qu'évalués dans cette étude sont donc totalement acceptables d'un point de vue professionnel et environnemental.

2. ETUDES REALISEES

La centrale sélectionnée pour ces essais est aménagée pour la mise en œuvre du procédé WAM Foam. Pendant le chantier de la voie rapide Firenze-Pisa-Livorno réalisé en Italie, le bitume dur employé dans ce procédé était un grade 20/30 (EN12591 – Tableau 1) et le bitume mou un grade V10000 (EN12591 – Tableau 3).

Les températures d'enrobages étaient de 180 °C pour l'enrobé conventionnel à chaud et de 120 à 125 °C pour l'enrobé tiède. Pour permettre la comparaison, les courbes granulométriques et les teneurs en bitume ont été gardées identiques. Les productions ont eu lieu pendant plusieurs jours consécutifs de la même semaine, au même poste d'enrobage, avec les mêmes personnes et avec les mêmes équipements de mesure. Les conditions météorologiques n'ont pas sensiblement varié pendant toute la durée de l'expérimentation de sorte que l'on obtient une base cohérente et comparable de données.

Plusieurs polluants atmosphériques (CO₂, CO, NO_x, SO₂, Composés Organiques Totaux, Poussière) émis à la cheminée de la centrale d'enrobage ont été mesurés par la société Det Norske Veritas AS. Simultanément, des mesures d'émission ont été réalisées à trois endroits différents dans la centrale d'enrobage. Par ailleurs les travailleurs présents pendant la pose et le compactage de l'enrobé ont été équipés de systèmes individuels pour mesurer l'exposition aux émanations auxquelles ils pouvaient être confrontés

Pour les mesures d'exposition et d'émissions (c'est à dire toutes les mesures sauf celles réalisées directement sur le flux canalisé de la cheminée), les mêmes systèmes de pompes individuelles ont été utilisés en accord avec la méthode NIOSH 5042 NMAM (méthode de référence utilisée avec quelques modifications mineures).

Les aérosols totaux appelés Total Particulate Matter ou TPM sont mesurés grâce à un échantillonneur dit "total" de la fraction respirable de 37 mm de diamètre (configuration fermée avec couvercle) équipé d'un filtre PTFE de 2 µm (voir les Figures 1 et 2). Les aérosols organiques sont ensuite extraits et quantifiés : on distingue alors une fraction organique soluble dans le benzène (Benzene Soluble Fraction) et en une Fraction Minérale (MF), c'est à dire la partie non extraite.

En aval des échantillonneurs classiques de 37 mm, des tubes adsorbants ont été utilisés afin de collecter la fraction gazeuse des émissions, appelée Fraction Volatile (VF). Un adsorbant

spécifique (XAD-2) a été utilisé pour piéger ces composés volatiles qui sont ensuite extraits avec du dichlorométhane. Les analyses et quantifications ont été réalisées par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme (GC-FID).

Le dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans la fraction soluble dans le benzène a également été réalisé sur les prélèvements pour l'enrobé à chaud. Cette opération n'a pas été réalisée pour l'enrobé WAM du fait que la quantité de matières organiques collectées avec ce dernier était trop faible. L'identification des composés est basée sur la liste prioritaire de 16 composés établie par l'agence américaine de protection environnementale EPA. L'analyse de HAP a été réalisée selon une méthode interne basée sur la méthode 610 de l'EPA pour les eaux usées. Les HAP sont extraits avec du THF à partir de la fraction organique des particules collectées (BSF) et sont analysés par la méthode HPLC-UV.

Les expositions aux aérosols totaux (Particulate Matter) ont été mesurées et comparées aux Valeurs Limites italiennes d'Exposition Professionnelle (VLEP) pour les fumées de bitume (bitume de pétrole, numéro CAS 8052-42-4). Certains pays, à l'instar de l'Italie en 2003, ont adopté dans leur législation nationale les recommandations de l'association américaine des hygiénistes (ACGIH) [Ref. 15]. En janvier 2000, l'ACGIH a modifié sa recommandation (Threshold Limit Value ou TLV) pour les fumées de bitume (asphalt fumes). L'ancienne limite TLV était de 5 mg/m³ en aérosols totaux (TPM). La nouvelle limite est de 0.5 mg/m³ en aérosols solubles dans le benzène, c'est-à-dire la fraction organique des aérosols totaux, se trouvant dans la fraction respirable (inhalable en anglais). Notons que comme la taille des particules est inférieure ou égale à 10 µm, cette fraction respirable est considérée généralement comme étant équivalente à la BSF.

Systématiquement, deux échantillons statiques sont également prélevés afin de couvrir le site dans son ensemble et de vérifier la présence éventuelle d'aérosols d'une autre provenance que celle du chantier lui-même.

3. RESULTATS ET DISCUSSION DES PRELEVEMENTS EFFECTUES DANS LA CENTRALE D'ENROBAGE

3.1 Consommation en combustible de la centrale d'enrobage

La consommation de combustible (gaz) a été mesurée à différentes capacités de production dans la centrale, dans la fourchette de 60 à 100 %. Les résultats montrent que la consommation de combustible baisse de 35 % avec l'enrobé WAM.

3.2 Emissions de la cheminée (gaz et poussières)

Lors de la fabrication d'enrobés, plusieurs polluants de l'air (CO₂, CO, NO_x, SO₂, VOC et poussières) émis via la cheminée de la centrale d'enrobage ont été mesurés par la société Det Norske Veritas AS. Sous le terme VOC, sont repris les Benzène, Ethylbenzène, Toluène, Xylène. Un aperçu des installations est donné dans les Figures 3 et 4.

Les résultats obtenus pour une production de 140 tonnes/h sont donnés au Tableau 1 et présentés en Figure 5. La baisse de la température d'enrobage de 180 °C (pour les enrobés à chaud) à environ 125-130°C (pour les enrobés tièdes) entraîne une baisse importante des émissions de gaz et de poussières. Bien que les émissions en SO₂ et poussières soient relativement faibles, on peut encore les réduire de 25 à 30% grâce aux enrobés tièdes.

Ces conclusions sont en ligne avec des données obtenues en 2002 en Norvège en utilisant les mêmes technologies. En moyennant avec ces résultats, la baisse est de l'ordre de 10 à 20% pour le CO, de 35% pour le CO₂, de 40% pour les poussières, de 50% pour les VOC et de 60% en NO_x. Ces valeurs sont des ordres de grandeur qui varient en fonction de nombreux paramètres.

		HMA	WAM	delta, %
CO ₂	T/h	3,403	2,1	-38
CO	kg/h	5,6	5,15	-8
SO ₂	g/h	20,0	12,9	-35
VOC	g/h	144,5	69,5	-52
NO _x	kg/h	4,43	1,45	-67
Dust	kg/h	0,05	0,04	-27

Tableau 1 : Emissions mesurées en 2006 au niveau de la cheminée de la centrale d'enrobage de Conglobit

3.3 Résultats et discussion des émissions dans la centrale d'enrobage

Les durées d'échantillonnage pour la fabrication d'enrobés à chaud et tièdes se situaient entre 3 et 4 heures.

La position des échantillonneurs en centrale d'enrobage est indiquée à la Figure 6.

- Deux échantillonneurs près du malaxeur. En raison de la saturation des filtres lors de la production d'enrobés à chaud, un troisième filtre a été ajouté permettant une réduction à 60 minutes du temps d'échantillonnage. On n'a observé aucune saturation lors de la production de la mousse WAM.
- Deux échantillonneurs au-dessus de la trémie de stockage à enrobé.
- Un ou plusieurs échantillonneurs au point de chargement.
- Un échantillonneur statique situé à 50m de la centrale.

Une première étude sur les émissions avait déjà été réalisée dans une centrale d'enrobage en 2000 [Ref 2]. Le présent article porte sur une étude plus large. Les résultats sont présentés dans la Figure 7 dans laquelle MF renvoie à fraction minérale, BSF à fraction soluble dans le benzène et VF à fraction volatile.

On constate que :

- La sortie du malaxeur est l'endroit où les fumées sont émises en plus grande quantité.
- Les concentrations de fumées au niveau du silo à enrobé sont plus faibles et celles mesurées au niveau du déchargement sont encore plus faibles.
- Les fractions minérales (MF) sont similaires pour les deux types d'enrobé.
- Les fractions organiques (BSF) sont beaucoup plus élevées avec l'enrobé à chaud HMA (jusqu'à 200 fois plus) qu'avec l'enrobé tiède. Les aérosols organiques ne représentent qu'une petite partie des émissions totales pour l'enrobé WAM, à l'opposé de l'HMA (jusqu'à 4 % et 90 %, pour WMA et HMA respectivement).
- La fraction volatile (VF) est plus élevée avec l'enrobé à chaud (jusqu'à 6 fois plus).
- En raison du très faible niveau en aérosols organiques émis, la fraction volatile peut représenter la quasi-totalité des émissions organiques pour l'enrobé tiède.

4. Résultats et discussion des mesures d'exposition sur le chantier

Le 26 octobre 2006, les travaux portaient sur la construction d'une couche structurante à base d'enrobés tièdes. 870 tonnes d'enrobés ainsi produites ont été utilisées sur le site pour un revêtement de 1300 m de longueur et de 3,5 m de largeur. Les températures de l'air étaient de 19 °C le matin et de 30°C à 15h00. Le temps était légèrement nuageux, sans vent. La durée d'échantillonnage pour les ouvriers de chantier était de 400 minutes environ.

Tout au long de la journée d'échantillonnage sur le chantier d'application en enrobés tièdes, il faut noter l'absence visuelle de fumées bleutées parfois observables avec les enrobés chauds (voir Figure 8). Seuls quelques panaches de vapeur d'eau ont été observés provenant de l'eau utilisée par le compacteur.

Pour déterminer les niveaux d'exposition, les personnes suivantes ont été équipées de pompes individuelles :

- Le chauffeur du finisseur
- Les deux régleurs du finisseur
- Un ouvrier qualifié / racleur
- Un chauffeur de compacteur

Les valeurs d'exposition sont présentées dans le Tableau 2. Ce sont des valeurs moyennes pondérées (Time Weighted Average ou TWA) sur 8 heures. Elles correspondent à

l'exposition moyenne au cours d'une journée de travail de 8 heures. Cette valeur est souvent préférée en raison de sa représentativité d'une journée normale de travail.

TWA sur 8h en mg/m ³	Mise en oeuvre de l'enrobé WAM-Foam		
	MF	BSF	VF
Chauffeur finisseur	0.22	0.05	3.45
Régleur 1	0.19	0.08	2.40
Régleur 2	0.19	0.07	1.18
Racleur	0.16	0.14	2.93
Chauffeur compacteur	0.13	0.03	0.79
Mesure statique 1	0.97	0.02	0.32
Mesure statique 2	0.14	< 0.02	0.23

Tableau 2 : Résultats des mesures d'exposition
exprimées en valeurs moyennes pondérées sur 8 heures

Les aérosols sont, en grande partie, inorganiques (poussières minérales). Les données d'exposition pertinentes (BSF) sont comparées aux seuils italiens d'exposition professionnelle. Les valeurs montrent que la probabilité de dépasser la VLEP est faible (seuil de sécurité généralement fixé à 30% de la VLEP).

Ainsi, les valeurs mesurées ici à partir d'enrobé tièdes WAM-Foam sont largement inférieures aux seuils d'exposition professionnelle et de protection de l'environnement en vigueur en Italie. Cela démontre clairement que les productions des enrobés tièdes WAM-Foam sont entièrement acceptables d'un point de vue professionnel et environnemental.

Les mesures sur échantillonneurs statiques sont élevées, surtout pour les poussières minérales. Cela est dû à la circulation automobile sur l'autre partie de la voie rapide. Le trafic routier a également un impact sur les expositions individuelles.

Lorsque de bons principes de mise en œuvre sont appliqués, c'est à dire lorsque les recommandations de température d'enrobage et de pose sont respectées, les mesures BSF sont typiquement de 0.05 à 0.60 mg/m³ pour des enrobés routiers à chaud. Comparativement à ces mesures d'exposition, les émissions des enrobés tièdes du Tableau 2 se trouvent vers le bas de la fourchette, comme l'illustre la Figure 9.

5. Hap dans les fractions solubles dans le benzène

Les teneurs en HAP sont la somme des valeurs quantifiées dans les fractions organiques et les fractions volatiles. Les résultats de l'analyse sont présentés en ng/m^3 dans la Figure 10. La somme des composés ayant entre 4 et 6 noyaux aromatiques ainsi que la somme de 15 HAP détectés sur les 16 de la liste de l'EPA (un composé n'a pas été détecté pour des raisons techniques) sont présentées.

Pour l'enrobé tiède, les valeurs des HAP contenant de 4 à 6 cycles sont inférieures à $0,1 \text{ ng}/\text{m}^3$ tandis que la somme des 15 HAP est inférieure à $2 \text{ ng}/\text{m}^3$. Ces résultats extrêmement faibles vont dans le même sens que ce qui a déjà été dit pour les valeurs de BSF : plus faible est la fraction organique des aérosols, plus faible est la teneur en HAP. Les valeurs correspondant à l'enrobé à chaud dans la Figure 10 sont des valeurs issues d'études précédentes réalisées par Shell.

6. Conclusion

L'objectif de cette étude était de comparer les procédés de fabrication d'enrobé classique à chaud et d'enrobé tiède en s'intéressant à l'exposition des travailleurs et aux émissions générées en centrale. De cette comparaison, il ressort que la technologie Shell WAM Foam apporte un avantage au niveau environnemental en terme de consommation énergétique et en terme d'émissions de CO_2 , de NO_x , de poussières et d'aérosols organiques. La technologie permet aussi de réduire sensiblement l'exposition professionnelle des travailleurs aux aérosols organiques. En effet, les mesures enregistrées lors de ce chantier en enrobé tièdes se trouvent dans le bas de la fourchette des quantités couramment mesurées lors la mise en œuvre des enrobés à chaud. Ce résultat est en ligne avec d'autres études Shell qui ont démontré que le taux d'émission en aérosols organiques diminue d'un facteur de 2 pour chaque baisse de température de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ [Ref. 17]. Ceci confirme l'énorme incidence que peut avoir pour l'environnement l'application de techniques tièdes.

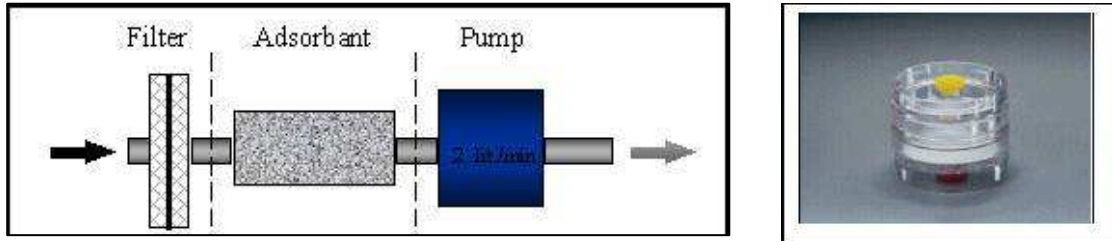
7. Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier P. Le Coutaller, B. Koenders (Shell Bitumes, France) et Andrea Menetti (Conglobit) pour leurs contributions.

REFERENCES

- [1] B.G. Koenders, D.A. Stoker, C. Bowen, P. de Groot, O. Larsen, D. Hardy, K.P. Wilms, "Innovative process in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures", 2nd Eurasphalt&Eurobitume congress, Barcelona, 20-22 September 2000, Book 2, session 3, pp. 831-840.
- [2] P.C. de Groot, C. Bowen, B.G. Koenders, D.A. Stoker, O. Larsen, J. Johansen, "A comparison of emissions from hot mixture and warm asphalt mixture production", Proceedings of IRF congress, Paris, June 2001, paper O022.
- [3] K.J. Jenkins, A.A.A. Molenaar, J.L.A De Groot, and M.F.C. van de Ven, "Foamed asphalt produced using warmed aggregates", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 71 (2002) 444-478.
- [4] B.G. Koenders, D.A. Stoker, C. Robertus, O. Larsen and J. Johansen, "WAM Foam, asphalt production at lower operating temperatures", 9th International Conference on Asphalt Pavements, ISAP, Copenhagen, 2002.
- [5] D. Strickland, "Development of WAM Foam technology", paper presented at 2nd International Conference on addressing government sustainability and recycling targets for construction and related industries, John Moores University (JMU), Liverpool, February 2003, UK.
- [6] O.R. Larsen, Ø. Moen, C. Robertus, B.G. Koenders, "WAM Foam asphalt production at lower operating temperatures as an environmental friendly alternative to HMA", 3rd Eurasphalt&Eurobitume congress, Vienna, 2004.
- [7] European patent numbers: EP 863 949, EP 977 813 and EP 1 263 885.
- [8] A. Romier, M. Audéon, J. David, Y. Martineau, "L'enrobage à basse énergie (EBE) aux performances des enrobés à chaud", Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, A 831 (2004) 62-68.
- [9] U. Hinterwäller, "Die Modifizierung von Asphalt Mischgut mit Amidwachs, Einflüsse auf Temperaturen, Emissionen and Gebrachsverhalten", Asphalt, heft 8 (2002).
- [10] K-W. Damm, "Asfalt flow improvers – A new technology for reducing mixing temperature of asphalt concrete mixes with high resistance against permanent deformation", 6th RILEM symposium PTEBM'03, Zurich 2003.
- [11] L. Drüschner, "Low temperature asphalt – experience in rolled asphalt", 3rd Eurasphalt&Eurobitume Congress, Vienna, 2004 – paper 198.
- [12] M. Lecomte, L. Achimastos, C. Leroux, "Solutions tièdes, un besoin brûlant pour la planète", Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, A 844 (2005) 85-89.
- [13] A. Self, "Overseas development in low temperature asphalt", 5th International Conference on the use of wastes and secondary materials in pavement engineering, John Moores University (JMU), Liverpool, 2006, UK.
- [14] G. Hurley, B. Prowell, "Evaluation of potential processes for warm mix asphalt", Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 75 (2006).
- [15] C.P. Plug, A.H. de Bondt, "Warm asphalt mixture trial experience after 5 years." 8th international conference, Liverpool, UK, Februari 2009.

- [16] American Conference of Governmental Industrial Hygienists 2001 TLVs and BEIs booklet.
- [17] H. C. A. Brandt, P.C. De Groot, "A laboratory rig for studying aspects of worker exposure to bitumen fumes", American Industrial Hygiene Association Journal, 60(2) (1999) 182-190.



Figures 1 et 2 : Echantillonneurs pour mesurer les émissions et les expositions



Figures 3 et 4 : Installations pour l'étude des émissions dans la centrale d'enrobage

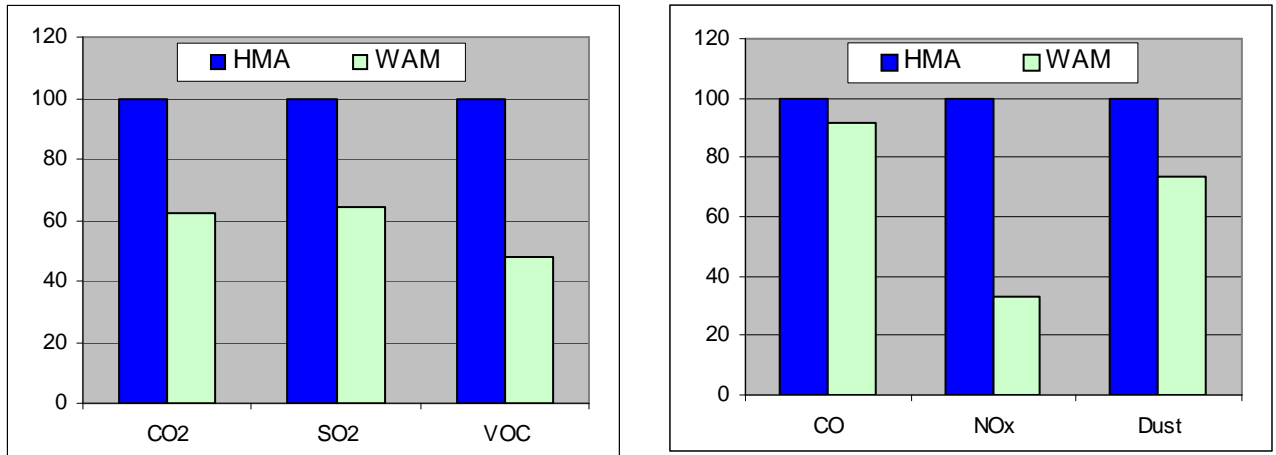


Figure 5: Emissions comparées des procédés à chaud (HMA) et tiède (WAM)



Figure 6 : Position des échantillonneurs en centrale d'enrobage

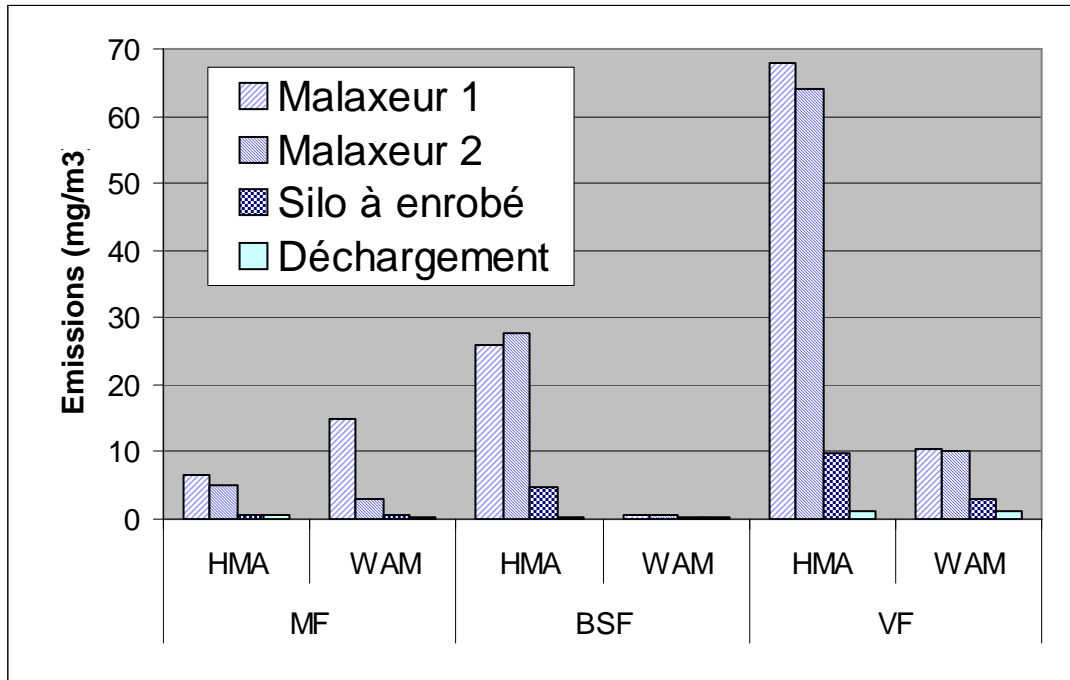


Figure 7 : Emissions de la centrale d'enrobage



Figure 8: Mesure des expositions pendant la mise en oeuvre

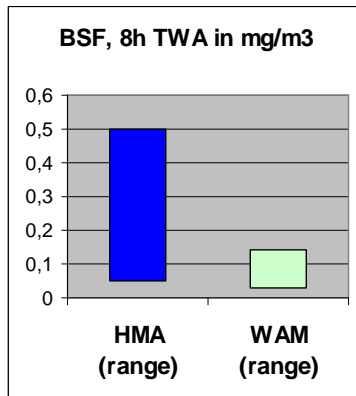


Figure 9 : Plage typique des résultats de BSF

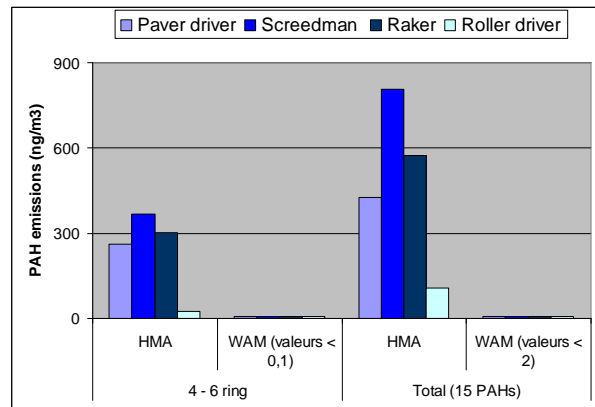


Figure 10 : Teneurs en HAP