

ÉMISSIONS DU BITUME LORS DE LA FABRICATION ET DU SOUDAGE DE MEMBRANES BITUMINEUSES

Reinhold RÜHL, Uwe MUSANKE et Corinne ZIEGLER, BG BAU

Résumé

Le Forum du Bitume allemand initie et coordonne depuis 1997 les activités relatives aux expositions, aux risques des vapeurs et aérosols de bitume pour la santé des travailleurs et aux mesures de protection adéquates. Dans le Forum sont représentés toutes les institutions et les associations de fabricants et d'utilisateurs de bitume ou de produits bitumineux, les syndicats, les représentants des ministères, les organismes de prévention des risques professionnels, les toxicologues et autres experts.

Depuis les mesures réalisées de 2005 à 2009, dans différents autres pays européens, lors de la production et du soudage de membranes bitumineuses, deux autres campagnes de mesures ont suivi en 2015 en Belgique, aux Pays-Bas et au Luxembourg. Les résultats obtenus sont présentés dans cet article.

Les vapeurs et aérosols de bitume, pour lesquels il existe une DNEL de 2 mg/m³ dont il faut tenir compte dans l'évaluation des risques, ont été mesurés d'une part (analyse au spectromètre infrarouge des vibrations C-H aliphatiques), et d'autre part les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus en faible quantité dans les bitumes. Pour le benzo[a]pyrène (B[a]P), considéré comme traceur des HAP, il existe une « valeur acceptable » de 70 ng/m³. Cette valeur ne s'applique cependant qu'aux HAP contenus dans les goudrons et les brais, mais elle peut servir de valeur guide pour les produits bitumineux. La stratégie de mesurer le niveau d'exposition des différentes activités, permet de calculer le l'exposition des salariés pendant une journée de travail.

Lors des campagnes de mesures effectuées en 2015 dans les pays du Benelux, 19 valeurs pour les vapeurs et aérosols de bitume lors de la production de membranes bitumineuses ont été obtenues. Les mesures réalisées sur des lignes de production, ont été effectuées à des endroits où des salariés peuvent être temporairement présents. Les résultats actuels confirment ceux obtenus dans le passé (95e percentile de 3,58 mg/m³ et de 3,7 mg/m³) ; ils sont légèrement inférieurs. Etant donné que l'exposition des salariés n'est que de courte durée, la DNEL de 2 mg/m³ est largement respectée. Lors des six mesures de HAP, des valeurs pour les B[a]P allant de < 4,1 ng/m³ à 11,3 ng/m³ ont été obtenues. Ces valeurs sont nettement en-dessous de la valeur guide de 70 ng/m³. Tous les résultats des mesures de naphthalène sont également largement en-dessous de la valeur limite d'exposition de 0,5 mg/m³.

Lors du soudage de membranes bitumineuses, le collectif des données de 2005 à 2009 (95e percentile de 2,8 mg/m³) se distingue très nettement des résultats actuels (valeur maximale de 0,41 mg/m³). L'exposition reste cependant très faible. Ainsi, pendant une journée de travail, l'exposition aux vapeurs et aérosols de bitume d'un couvreur devrait toujours être inférieure à la DNEL de 2 mg/m³. La seule mesure des HAP effectuée lors du soudage de membranes bitumineuses est comparable aux valeurs obtenues durant la fabrication de membranes. Les valeurs mesurées lors du collage de membranes au bitume fondu sont nettement plus élevées (221 ng/m³ de B[a]P) car les travaux ont été effectués sur un toit sur lequel se trouvaient encore des restes d'une ancienne membrane de goudron.

ÉMISSIONS DU BITUME LORS DE LA FABRICATION ET DU SOUDAGE DE MEMBRANES BITUMINEUSES

Reinhold RÜHL, Uwe MUSANKE et Corinne Ziegler, BG BAU

Lors de la fabrication et du soudage de membranes bitumineuses, les salariés sont exposés aux vapeurs et aérosols* émis par le bitume chaud. Des mesures dans l'air des lieux de travail effectuées en Belgique, aux Pays-Bas et au Luxembourg montrent toutes des expositions très faibles. Ces résultats ont pu être confirmés par des mesures réalisées dans plusieurs autres pays européens.

** En Allemagne, on parle de « vapeurs et aérosols de bitume » et non de « fumées de bitume » parce que les émissions du bitume chaud sont composées d'une phase particulaire et d'une phase gazeuse dont la composition est différente de celle du bitume.*

Introduction

Le Forum du Bitume initie depuis de nombreuses années des mesures d'exposition lors de la mise en œuvre du bitume chaud dans plusieurs pays européens. Depuis les mesures réalisées de 2005 à 2009, en Belgique et aux Pays-Bas, lors de la production et du soudage de membranes bitumineuses, deux autres campagnes de mesures ont suivi en 2015.

Le Forum du Bitume

Le Forum du Bitume allemand initie et coordonne depuis 1997 les activités relatives aux expositions, aux risques des vapeurs et aérosols de bitume pour la santé des travailleurs et aux mesures de protection adéquates. Dans le Forum sont représentés toutes les institutions et les associations de fabricants et d'utilisateurs de bitume ou de produits bitumineux (comme par exemple les constructeurs de routes et les couvreurs), les syndicats, les représentants des ministères, les organismes de prévention des risques professionnels, les toxicologues et autres experts.

Ainsi, la thématique est traitée dans son intégralité, et le Forum du Bitume est l'interlocuteur compétent pour toutes les questions relatives à la protection de la santé des travailleurs lors de la mise en œuvre du bitume ou de produits bitumineux. Depuis plusieurs années, de nombreux experts européens et américains participent aux activités de ce forum.

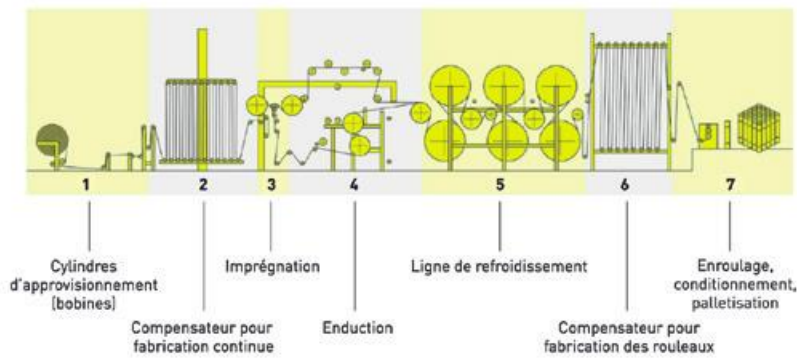


Production de membranes bitumineuses

Les membranes bitumineuses sont fabriquées dans des lignes de production partiellement capotées et munies de systèmes d'aspiration (cf. Figure 1). Le bitume est mélangé dans un agitateur clos à une température d'environ 160°C avec 10 à 25 %m de polymères et additifs.

L'armature est d'abord imprégnée avec du bitume et ensuite recouverte des deux côtés d'une couche de bitume d'enduction. Puis, la face supérieure de la membrane est recouverte de sable, de paillettes d'ardoise, de talc ou de granulats. La membrane terminée est refroidie et conditionnée.

FIGURE 1
Fabrication de membranes bitumineuses



Une membrane bitumineuse contient environ 45 %m de bitume. Tandis que dans le passé, on utilisait essentiellement des bitumes oxydés (sans addition de polymères), aujourd'hui, la plupart des membranes sont des membranes de bitume polymère (« straight run bitumen » et « air rectified bitumen »).

Le soudage de membranes bitumineuses

Les membranes bitumineuses arrivent sur le chantier sous forme de rouleaux souvent de 1 m de large et de 5 à 10 m de long. Lors de la mise en œuvre, le rouleau est continuellement chauffé avec un chalumeau et déroulé sur le bitume fondu (cf. Figure 2). En plus de ces travaux effectués sur de grandes surfaces, des travaux de détails sont nécessaires dans les angles et les bords, au niveau des gaines de ventilation, des lanternaux, etc. Lors de ces travaux de finitions, les membranes bitumineuses sont découpées à la bonne taille, chauffées, puis collées.

FIGURE 2
Soudage d'une membrane bitumineuse au chalumeau



Valeurs limites d'exposition professionnelle

La DNEL par inhalation des vapeurs et aérosols de bitume est de 2,9 mg/m³. Cette valeur est cependant basée sur le calibrage de la méthode d'analyse avec le condensat de bitume. Le Forum du Bitume se base par contre, depuis le début, sur le calibrage avec le standard huile minérale. La DNEL de 2,9 mg/m³ doit alors être multipliée par 1,45. Ainsi, les valeurs d'exposition présentées dans cet article sont à comparer avec une DNEL de 2 mg/m³.

La « valeur acceptable »* pour le benzo[a]pyrène (B[a]P), utilisé comme traceur des HAP, est de 70 ng/m³, en 2018 cette valeur va être abaissée à 7 ng/m³. Cette « valeur acceptable » n'est cependant valable que pour le B[a]P contenu dans les produits issus de la

pyrolyse de la houille (goudron et dérivés) et non pour les produits issus de la distillation du pétrole (bitume et dérivés). Cette valeur a néanmoins été retenue comme valeur guide pour les mesures de B[a]P effectuées lors de la mise en œuvre de produits bitumineux.

La valeur limite allemande pour le naphthalène est de 0,5 mg/m³.

**En Allemagne, il existe pour un certain nombre de substances cancérigènes une « valeur tolérable » et une « valeur acceptable ». Pour le benzo[a]pyrène, la « valeur tolérable » est de 700 ng/m³ et la « valeur acceptable » de 70 ng/m³ (TRGS 910).*

Méthodes d'analyse

Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de méthode de mesurage des vapeurs et aérosols de bitume harmonisée au niveau international. La méthode utilisée lors des mesures initiées par le Forum du Bitume est décrite dans l'article (BREUER and ENGEL, 2012) de la bibliographie. Le dispositif de prélèvement GGP utilisé est une modification du système d'échantillonnage pour les aérosols inhalables, auquel est rajoutée une cartouche pour les vapeurs (BGIA, 2005).

Les aérosols sont collectés sur un filtre en fibre de verre de diamètre 37 mm et les vapeurs sont absorbées sur 3 g d'AmberliteTM XAD-2, avec un débit de 3,5 L/min. Les vapeurs et aérosols de bitume sont extraits du filtre et de la résine XAD-2 avec du tétrachloréthylène. L'analyse est effectuée au spectromètre infrarouge et la calibration est réalisée aujourd'hui avec le condensat de bitume (Pohlmann et al., 2001).

D'autres méthodes préconisent uniquement le prélèvement de la phase particulaire, ce qui conduit à des résultats de mesurage très faibles. Ceci est le cas par exemple pour la méthode NIOSH 5042 intitulée « Benzene soluble fraction and total particulate (Asphalte Fume) » (NIOSH 1998).

Les composants du bitume contiennent beaucoup de liaisons hydrogène-carbone (C-H). La méthode BGIA détermine les liaisons C-H aliphatiques et a une sélectivité plus importante que la méthode NIOSH. Les résultats obtenus avec la méthode BGIA sont de ce fait nettement plus élevés que ceux de la méthode NIOSH. Cependant, les résultats de la méthode NIOSH sont comparables avec les concentrations des aérosols déterminées selon la méthode BGIA. Il existe, en outre, une très bonne corrélation entre les résultats des mesures obtenus selon la méthode Heritage intitulée « total organic matter » et la somme des vapeurs et aérosols déterminés par la méthode BGIA (Kriech et al., 2010).

Pour la détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), la phase particulaire est collectée avec un dispositif de prélèvement GSP sur filtre de diamètre 37 mm relié à un tube rempli de résine XAD-2 pour le prélèvement de la phase vapeur, avec un débit de 2,5 L/min. Les analyses sont effectuées par GC/MS ou HPLC/DAD.

Pour augmenter la sensibilité de la méthode d'analyse, quatre systèmes de captage sont souvent utilisés simultanément et analysés ensemble.

Stratégie de mesurage

Conformément à l'article 6(4) de la directive 98/24/CE, l'employeur doit procéder régulièrement « aux mesures des agents chimiques pouvant présenter des risques pour la santé des travailleurs sur le lieu de travail qui s'avèrent nécessaires ». Il a également la possibilité de démontrer par d'autres moyens d'évaluation, qu'il est parvenu à assurer une prévention et une protection suffisantes.

Sur des lieux de travail non stationnaires, comme par exemple lors de travaux de toiture, les conditions d'exposition présentent une grande variabilité due par exemple à des conditions climatiques changeantes. Avec un nombre important de mesures effectuées sur différents chantiers, on peut néanmoins réaliser une évaluation fiable de l'exposition des salariés. Etant donné que le 95e percentile (TRGS 420 [4], 4.2(4)) d'un tel collectif de données tient compte également de conditions d'exposition défavorables, les mesures de protection fixées sur la base de ces données, garantissent une protection suffisante des salariés.

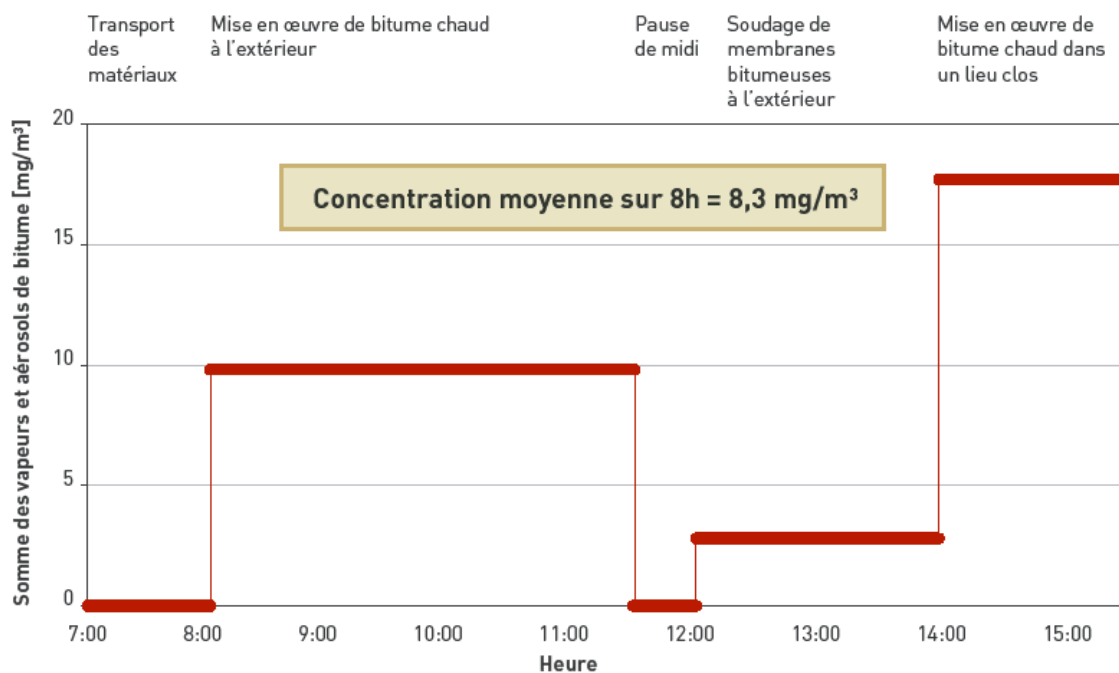
Cette stratégie de mesurage est conforme à la norme NF EN 689 « Atmosphères des lieux de travail. Conseils pour l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage » (avril 2015).

Les « Berufsgenossenschaften » (BG) sont des organismes d'assurance et de prévention des risques professionnels. Ils sont organisés par branche d'activité professionnelle. Les personnes effectuant les mesures ont souvent exercé une de ces professions dans le passé et peuvent ainsi reconnaître lors des prélèvements, si les situations rencontrées sur les lieux de travail sont typiques ou atypiques.

Il est essentiel de mesurer les niveaux d'exposition pour chaque activité. Cela permet d'identifier d'une part, dans le cadre de l'évaluation des risques, les activités les plus exposantes, et d'autre part, de déterminer les mesures de protection appropriées.

Lorsque des expositions d'une certaine activité (comme par exemple souder des membranes bitumineuses, conduire le finisseur, répandre le bitume fondu) ont été déterminées sur différents chantiers, on obtient une description représentative de l'exposition pour cette activité. Grâce à ces « descriptions d'exposition » il est possible d'estimer à l'avance l'exposition des salariés. Le Forum du Bitume a publié des « descriptions d'exposition » pour toutes les activités mettant en œuvre du bitume chaud (<http://www.bgbau.de/koop/gesprachskreis-bitumen/gesprachskreis-bitumen> ; Expositionsbeschreibungen).

Cette stratégie de ne mesurer que pendant les temps d'exposition, permet de déterminer concrètement l'exposition pendant une journée de travail composée de différentes activités. Un exemple est représenté figure 3.



Exemple d'une journée de travail d'un couvreur:

Le matin il transporte le matériel nécessaire sur le chantier au niveau supérieur d'un parking, où jusqu'à la pause de midi il pose des plaques d'isolation en verre cellulaire avec du bitume chaud. L'après-midi il soude des membranes bitumineuses, puis, jusqu'à la fin de la journée, il aide son collègue à coller des plaques d'isolation au niveau inférieur du parking.

FIGURE 3

Évaluation de l'exposition d'une journée de travail avec différentes activités mettant en œuvre du bitume chaud. Les expositions proviennent des « descriptions d'exposition » respectives. La concentration moyenne sur 8h a été calculée de la manière suivante : $1 \text{ h} \times 0 \text{ mg/m}^3 + 3,5 \text{ h} \times 9,8 \text{ mg/m}^3 + 0,5 \text{ h} \times 0 \text{ mg/m}^3 + 2 \text{ h} \times 2,8 \text{ mg/m}^3 + 1,5 \text{ h} \times 17,7 \text{ mg/m}^3 / 8 \text{ h} = 8,3 \text{ mg/m}^3$

Mesures de 2015

En 2015, deux campagnes de mesures ont été effectuées en Belgique, aux Pays-Bas et au Luxembourg. En juin, six mesures ont été réalisées en Belgique et aux Pays-Bas lors du soudage de membranes bitumineuses (cinq valeurs sont inférieures à la limite de détection ; la valeur mesurée lors de l'utilisation d'une machine de soudage est de $0,41 \text{ mg/m}^3$) et sept mesures durant la production de membranes bitumineuses (valeur maximale : $4,28 \text{ mg/m}^3$).

Quatre mesures ont été effectuées en novembre 2015 en Belgique, aux Pays-Bas et au Luxembourg lors de travaux d'étanchéité de toiture (deux mesures lors du collage au bitume fondu et deux mesures lors du soudage au chalumeau ; toutes les valeurs sont inférieures à la limite de détection) et 12 mesures lors de la fabrication de membranes (valeur maximale : $3,5 \text{ mg/m}^3$).

Tableau 1 : Résultats de 19 mesures de vapeurs et aérosols de bitume en 2015 en Belgique et aux Pays-Bas lors de la fabrication de membranes bitumineuses [mg/m^3]

	% valeurs < LD*	Valeur minimale	50e percentile	95e percentile	Valeur maximale
Aérosols	74 %	< 0,27	0,14	0,52	0,75
Vapeurs et aérosols	11 %	< 0,30	0,70	3,58	4,29

* lorsqu'une valeur est inférieure à la limite de détection (< LD), la valeur retenue est calculée en divisant par 2 la limite de détection

Les mesures ont été réalisées entre 53 et 156 minutes. Les résultats des mesures effectuées lors de la production de membranes bitumineuses sont détaillés dans le tableau 1. Comme seules 10 mesures ont été réalisées lors de travaux d'étanchéité de toiture, dont neuf sont de plus inférieures à la limite de détection, les résultats statistiques n'ont pas été donnés.

Dans le cadre de ces campagnes de mesures durant la production de membranes bitumineuses, des prélèvements de HAP et S-HAP ont également été effectués. En juin, lors de quatre mesures de 17 HAP, des concentrations supérieures à la limite de détection n'ont été trouvées que dans deux cas pour une substance. De ce fait, la stratégie de mesurage lors des prélèvements effectués en novembre a été adaptée. Ainsi, quatre systèmes de captage pour HAP ont été utilisés simultanément et analysés ensemble. Les résultats des concentrations de HAP sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Résultats des mesures de HAP effectuées en novembre 2015 [ng/m³]

	Production de membranes bitumineuses						collage au bitume fondu	Soudage
Acénaphthène	72,1	30,4	47,5	28,7	12,3	34,3	239	16,3
Acénaphthalène	16,2	12,2	11	7,58	7,77	8,57	20,7	47,3
Anthracène	7,72	<5,4	<6,4	5,54	<5,3	8,3	55,2	6,39
Benzo[a]anthracène	16,3	7,02	<4,1	18,4	15,9	8,17	283	<4,5
Benzo[k]fluoranthène	<4,1	<4,2	<4,1	8,21	4,42	<4,2	124	<4,5
Benzo[b,j]fluoranthène	13,3	5,26	<4,1	28,8	17,4	9,97	404	8,72
Benzo[g,h,i]pérylène	<4,1	<4,2	<4,1	11,3	8,1	<4,3	166	<4,5
Benzo[a]pyrène	6,23	<4,2	<4,1	14,5	11,3	4,29	221	<4,5
Benzo[e]pyrène	15,5	4,56	<4,1	16,5	10,3	4,8	205	6,27
Chrysène	17,9	<4,2	<4,1	15,1	8,67	5,4	229	<4,5
Dibenzo[a,h] anthracène	<4,1	<4,2	<5,1	<5,3	<4,2	<4,8	58,7	<4,5
Fluoranthène	29,6	18,3	18,7	37,9	21,6	28,6	683	22,4
Fluorène	127	30,6	56,1	40,4	30,6	38,5	193	64,6
Indeno[1,2,3-c,d]pyrène	<4,1	<4,2	<4,1	12	9,33	<4,7	154	<4,5
Naphtalène	502	377	316	229	135	242	1970	391
Phenanthrène	112	65,2	71,6	71,4	17,1	58,6	602	56,5
Pyrène	36,9	35,4	32,3	33	36,4	36,1	488	40
Triphénylène	18	<14	<4	<4	<4	<4	33	<15
Benzo[b]thiophène	102	21	51	54	42	14	161	33
Dibenzothiophène	63	<14	30	45	27	<14	64	23
4,6Dimethyldibenzothiophène	49	14	19	32	22	<14	<30	<15
Benzo[b]naphtho[2,3-d]thiophène	22	15	<4	<4	<4	<4	33	<5
Vapeurs et aérosols de bitume (mg/m ³)	3,1	1,1	1,1	0,6	0,7	<0,3	<0,8	<0,4

Exposition lors de la fabrication de membranes bitumineuses

Entre 1995 et 2009, 87 mesures ont été effectuées lors de la production de membranes bitumineuses dans huit pays européens (Belgique, Allemagne, France, Italie, Pays-Bas, Autriche, Suède et Espagne) (cf. *Tableau 3*).

Tableau 3 : Expositions aux vapeurs et aérosols de bitume lors de la production de membranes bitumineuses en Europe de 1995 à 2009 [mg/m³]

87 mesures	% valeurs < LD*	Valeur minimale	50e percentile	95e percentile	Valeur maximale
Aérosols*	80%	0,1	0,3	0,4	0,6
Vapeurs et aérosols	0%	0,2	1,4	3,7	6,1

* lorsqu'une valeur est inférieure à la limite de détection (< LD), la valeur retenue est calculée en divisant par 2 la limite de détection

Exposition lors du soudage de membranes bitumineuses

De 2005 à 2009, 77 mesures ont été réalisées lors du soudage de membranes bitumineuses dans sept pays européens, entre autre en Belgique et aux Pays-Bas (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Expositions aux vapeurs et aérosols de bitume lors du soudage de membranes bitumineuses en Europe de 2005 à 2009 [mg/m³]

77 mesures*	% valeurs < LD*	Valeur minimale	50e percentile	95e percentile	Valeur maximale
Aérosols	82%	0,1	0,2	1,2	2,8
Vapeurs et aérosols	60%	0,1	0,3	2,8	6,4

* lorsqu'une valeur est inférieure à la limite de détection (< LD), la valeur retenue est calculée en divisant par 2 la limite de détection

Discussion

Les mesures réalisées sur des lignes de production, ont été effectuées à des endroits où des salariés peuvent être temporairement présents. Les concentrations de vapeurs et aérosols de bitume les plus élevées ont été mesurées à proximité de l'imprégnation de l'armature dans le bitume liquide. Les résultats actuels confirment les données obtenues dans le passé (95e percentile de 3,58 mg/m³ et de 3,7 mg/m³) ; ils sont légèrement inférieurs. Etant donné que l'exposition des salariés n'est que de courte durée, la DNEL de 2 mg/m³ est largement respectée.

Lors du soudage de membranes bitumineuses, le collectif des données de 2005 à 2009 (95e percentile de 2,8 mg/m³) se distingue très nettement des résultats actuels (valeur maximale de 0,41 mg/m³). L'exposition reste cependant très faible. Ainsi, pendant une journée de travail, l'exposition aux vapeurs et aérosols de bitume d'un couvreur est inférieure à la DNEL de 2 mg/m³.

Le tableau 2 présente les résultats des mesures de HAP. Les résultats lors de la fabrication et du soudage de membranes bitumineuses sont comparables. Les concentrations du benzo[a]pyrène, mises à part les mesures lors du collage au bitume fondu, se situent nettement sous la « valeur acceptable » allemande de 70 ng/m³ et en majorité également sous la valeur de 7 ng/m³, qui devra être respectée à partir de 2018 (la « valeur acceptable » pour le B[a]P contenu dans les produits issus de la pyrolyse de la houille a été retenue comme valeur guide pour les produits bitumineux).

Tous les résultats des mesures de naphthalène sont nettement en-dessous de la valeur limite d'exposition de 0,5 mg/m³.

Les valeurs des HAP lors du collage de membranes au bitume fondu sont nettement plus élevées. Cela n'est pas dû à la technique de travail, car les concentrations de vapeurs et aérosols de bitume étaient comparables aux valeurs lors du soudage. Ces valeurs élevées ne proviennent pas non plus des membranes bitumineuses, mais des restes d'une ancienne membrane de goudron.

Ceci démontre clairement qu'une d'une exposition élevée de HAP ne peut pas venir du bitume ; il existe toujours une autre origine. Des résultats similaires ont été observés lors de la mise en œuvre d'asphalte coulé sur des couches de goudron (Raulf-Heimsoth, 2008).

CONCLUSION

Lors de la fabrication et du soudage de membranes bitumineuses les salariés sont exposés aux vapeurs et aérosols de bitume. Des mesures dans l'air des lieux de travail effectuées en 2015 en Belgique, aux Pays-Bas et au Luxembourg montrent des expositions très faibles. Ces résultats ont pu être confirmés par les mesures réalisées de 2005 à 2009 dans plusieurs autres pays européens.

Les six mesures de 22 HAP et S-HAP réalisées lors de la fabrication et du soudage de membranes bitumineuses montrent également des concentrations atmosphériques très faibles. Pour les deux substances (le benzo[a]pyrène et le naphthalène), pour lesquelles il existe en Allemagne une valeur limite et une valeur guide, les niveaux d'exposition se trouvent largement en-dessous de ces limites.

Lors du collage de membranes bitumineuses au bitume fondu, une augmentation des expositions aux HAP d'un facteur supérieur à 10, par rapport aux autres mesures, a été observée. Durant ces mesures, les expositions aux vapeurs et aérosols de bitume n'étaient cependant pas plus élevées. Ces valeurs élevées de HAP étaient dans ce cas dues à une ancienne membrane de goudron qui n'avait pas été enlevée complètement. Le bitume fondu a provoqué le dégagement des HAP des restes de goudron.

BIBLIOGRAPHIE

1. BIA-Arbeitsmappe « Messung von Gefahrstoffen ». 40. Lfg. IV/2008, 63051/ und 6305/2. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit- IFA, Sankt Augustin, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
2. BGIA Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“; Vol. 34 „Geräte zur Probenahme von Stoffen, die gleichzeitig partikel- und dampfförmig vorliegen“. Blatt 3040 und Blatt 3014, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld, 2005.
3. BREUER, D. and ENGEL, C.: Bitumen (vapor and aerosol) [Air Monitoring Methods, 2011]. The MAK Collection for Occupational Health and Safety, 2012, 38–47
4. Norme NF EN 689 Atmosphères des lieux de travail. Conseils pour l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques aux fins de comparaison avec des valeurs limites et stratégie de mesurage, 1995
5. Directive 98/24/CE du conseil du 7 avril 1998 concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail (quatorzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE)
6. KENNY L.C., AITKEN R., CHALMERS C., FABRIES J.F., GONZALES-FERNANDEZ E., KROMHOUT H., LIDEN G., MARK D., RIEDIGER G. and PRODI V. : *A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance*. Ann Occup Hyg, 1997, 41(2) 135
7. KRIECH A.J., EMMEL C., OSBORNE L.V., BREUER D., ADAM P., REDMAN A.P., HOEBER D., BOCHMANN F. and RÜHL R. : *Side-by-Side Comparison of Field*

- Monitoring Methods for Hot Bitumen Emission Exposures: The German IFA Method 6305, U.S. NIOSH Method 5042, and the Total Organic Matter Method.* Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 7 2010, 712 – 725
8. NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health: Benzene-soluble fraction and total particulate (asphalt fume). Method 5042, in NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed., No. 98-119; P.M. Eller and M.E. Cassinelli (eds.). Cincinnati, Ohio: NIOSH, 1998.
 9. POHLMANN G, KOCH W, LEVSEN K, FUHST R, MUHLE H, HEINRICH U: Sammlung von Kondensat aus Bitumendampf und Erzeugung von Atmosphären zur tierexperimentellen Inhalation. Gefahrstoffe – Reinh. Luft, 61 (2001) 507–509.
 10. RAULF-HEIMSOTH, Monika; ANGERER, Jürgen; PESCH, Beate; MARCYNISKI, Boleslaw; HAHN, Jens Uwe; SPICKENHEUER, Anne; PREUSS, Ralf; RÜHL, Reinhold; RODE, Peter and BRÜNING, Thomas: Biological Monitoring as a Useful Tool for the Detection of a Coal-Tar Contamination in Bitumen-Exposed Workers. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 71: 767–771, 2008
 11. RÜHL R., MUSANKE U., KOLMSEE K., P RIEß R., ZOUBEK G. and BREUER D.: *Vapours and aerosols of bitumen: exposure data obtained by the German Bitumen Forum.* Ann Occup Hyg; 50 (2006) 459–68
 12. RÜHL R., MUSANKE U., KOLMSEE K., PRIEß R. and BREUER D.: *Bitumen Emissions on Workplaces in Germany.* Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 4(S1) 2007, 77 – 86
 13. TRGS 402: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. GMBI 2010 Nr. 12, 231-253
 14. Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil, du 18 décembre 2006, concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH)
 15. TRGS 910: Risk-related concept of measures for activities involving carcinogenic hazardous substances GMBI 2014 Nr. 12, 258-270