

# Difficultés pratiques dans la mise en place de la SBEP : comment les surmonter ? Illustration dans le secteur des sols pollués et des fumées de bitumes



*Dr Renaud PERSOONS*

*Praticien Hospitalier, PhD, Biologiste médical toxicologue*

*Laboratoire de Toxicologie Professionnelle et Environnementale - CHU Grenoble Alpes*

<https://www.laboratoire-toxicologie-professionnelle-environnementale.fr>

*Equipe EPSP – Laboratoire TIMC – UMR 5525 CNRS Université Grenoble Alpes*

<https://www.timc.fr/EPSP>



# Freins à la mise en place de la SBEP...

Quels agents  
chimiques ?

Combien de  
sujets ?

Transport des  
échantillons ?

Quel  
laboratoire ?

Comment organiser  
le recueil des  
échantillons ?

Comment restituer  
aux patients ?

Comment restituer  
à l'entreprise ?

Comment  
interpréter ?

Fréquence de  
renouvellement ?

Quels biomarqueurs  
prescrire ?

# Questions à traiter

- \* Comment identifier les Agents Chimiques Dangereux (ACD) éligibles à la SBEP ?
- \* Comment savoir quels biomarqueurs prescrire ?
- \* Combien de sujets inclure à la campagne de biosurveillance ?
- \* A quel(s) moment(s) prélever les échantillons ?
- \* Comment organiser le recueil des échantillons sur le terrain?
- \* Comment organiser le transport des échantillons ?
- \* Comment interpréter les résultats ?

# Illustration pour 2 métiers

36<sup>e</sup>  
Journées Nationales  
de Santé au Travail  
dans le BTP

## Application d'enrobés routiers



## Dépollution des sols



# Identification des Agents Chimiques Dangereux

## Application d'enrobés routiers

Fumées de bitumes (HC aliphatiques C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>)  
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)  
Gasoil, huiles végétales (débituminants)  
Additifs

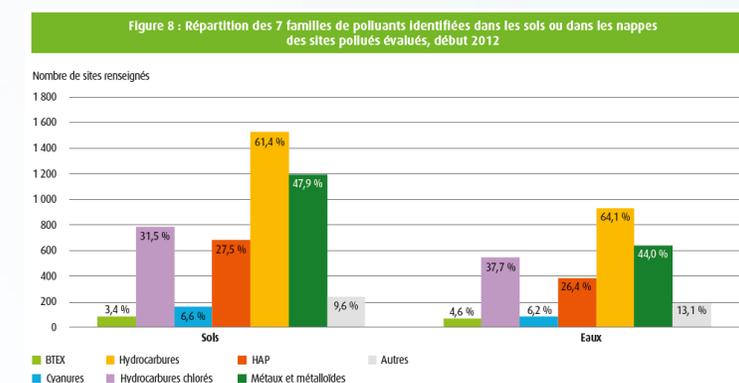
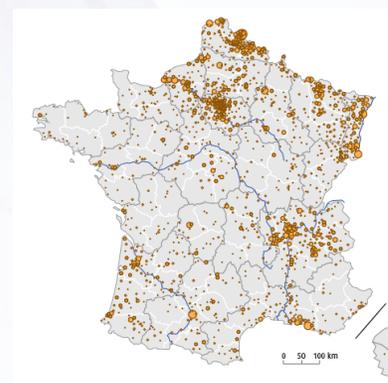
Hydrocarbures Purs	Composés contenant de l'oxygène
Alcanes, C9 - C27	Benzofuranes, C0 - C2
Alcènes / Cycloalcanes	Dibenzofuranes, C0 - C2
Benzènes, C2 - C8	Acétophénonnes, C0 - C3
Indanes, C0 - C4	Fluorénones, C0 - C3
Indènes, C0 - C3	Dihydroindénones, C0 - C4
Naphtalènes, C0 - C5	Cycloalcénones, C6 - C11
Biphenyls, C0 - C2	Dihydrofuranones
Fluorenes / Acénaphtène / Acénaphthylène, C0 - C3	Isobenzofuranones, C0 - C3
Anthracènes / Phénanthrènes, C0 - C4	Phénols, C0 - C4
Pyrènes, Fluoranthènes, C0 - C2	Naphtols, C0 - C2
Chrysènes / Benz[a]anthracènes, C0-C2	Furanones, C1 - C3
	Indanones
	Alcanones, C8 - C22
	Acides alcanoniques, C5 -C14
	Acides Benzoïques, C0 - C4
Composés contenant du Soufre	Composés contenant de l'azote
Benzothiophenes, C0 - C9	carabazoles, C0 - C4
Dibenzo- / Naphto- thiophènes, C0 - C4	
Cycliques condensés tricarboxyliques thiophènes, C0 - C1	
Hydroxybenzenethiols, C0 - C4	



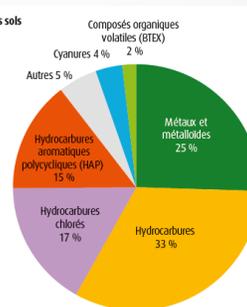
ANSES, 2013

## Dépollution des sols

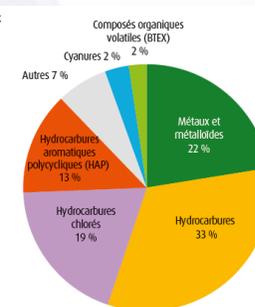
Hydrocarbures, HC chlorés, Métaux, HAP, BTEX



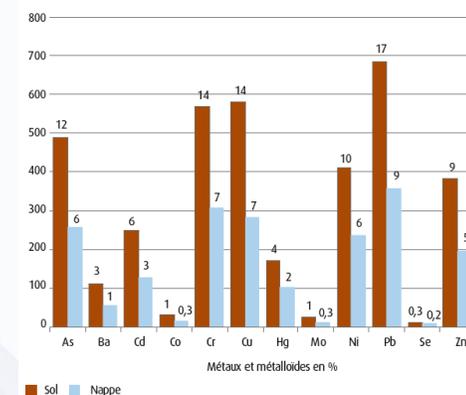
Dans les sols



Dans les eaux



Nombre de sites



Commissariat général au développement durable, BASOL, 2013

# VARIABLES importantes à étudier

## Application d'enrobés routiers

### VARIABLES IMPORTANTES<sup>6</sup>

*Au niveau des procédés industriels :*

- Proportion de liant
- Température d'application
- Température extérieure
- Systèmes de captage d'émission de fumée
- Additifs (huiles de fluxage, plastifiants, fluidifiants...)
- Chantier en espace confiné

*Au niveau individuel :*

- **Tabagisme**
- Habitudes alimentaires (viandes grillées)

## Dépollution des sols

### VARIABLES IMPORTANTES

- Nature des polluants
- Intensité de la pollution mesurée en mg/Kg de MS (matière sèche) ⇨ Rapport
- Fréquence d'intervention
- Bioaccessibilité des substances
- Nature de l'activité industrielle historique



# Quels (bio)marqueurs prescrire ?

## Application d'enrobés routiers

## Dépollution des sols

### SURVEILLANCE ATMOSPHERIQUE DE L'EXPOSITION AUX FUMÉES DE BITUMES

#### EXPOSITION INDIVIDUELLE\*

< 1 mg/m<sup>3</sup>

1 - 1,6 mg/m<sup>3</sup>

> 1,6 mg/m<sup>3</sup>

**INDICATEUR D'EFFICACITÉ (APPLICATION MÉCANISÉE D'ENROBÉS ROUTIERS)<sup>2</sup>**  
Recommandation INRS, valeur technique sans lien avec risque sanitaire



Emission maîtrisée



Efficacité des moyens de prévention à améliorer



Efficacité des moyens de prévention insuffisante

\*concentrations de la totalité des COV présents dans les fumées

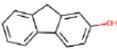
### SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX HAP

#### BIOMARQUEURS



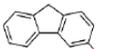
1-hydroxypyrene (1- OHP)

Métabolite du **pyrène**



2-hydroxyfluorène

Métabolite du **fluorène**



3-hydroxyfluorène

Métabolite du **fluorène**



2-hydroxyphénanthrène

Métabolite du **phénanthrène**



3-hydroxyphénanthrène

Métabolite du **phénanthrène**

#### PROTOCOLE<sup>4</sup>



échantillon urinaire

Pyrène :

DSDP

FSFP

FSFP + 16h

Fluorénols et phénanthrols :

DSDP

FSFP



DS / FS = Début / Fin de Semaine  
DP / FP = Début / Fin de Poste

### BIOMARQUEURS (À ADAPTER EN FONCTION DE LA NATURE DE LA POLLUTION DES SOLS)



**Mercur**e urinaire

⚠ Sous forme élémentaire : volatil à température ambiante



**Arsenic inorganique** et métabolites méthylés (MMA, DMA) urinaire

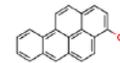


**Plomb** sanguin

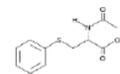
Reflète de l'exposition récente et de la charge corporelle



1-hydroxypyrene (1- OHP) urinaire  
Métabolite du **pyrène**



3-Hydroxybenzo[a]pyrène (3- OHB[a]P) urinaire  
Métabolite non cancérigène du **benzo[a]pyrène** (HAP CIRC1)



Acide S-Phénylmercapturique (S-PMA) urinaire  
Métabolite du **benzène**

#### PROTOCOLE<sup>6,7,8</sup>



FS-DP

FP le jour de plus forte exposition (cinétique d'élimination rapide)

Moment indifférent après quelques semaines d'exposition (pas d'intérêt si seulement quelques j d'exposition)

FS-FP +/- DS-DP (niveau de base)  
FS-FP+16h

FS-FP+16h +/- DS-DP (niveau de base)

FP (moment de la semaine indifférent)



DS / FS = Début / Fin de Semaine ; DP / FP = Début / Fin de Poste

# Quels métiers surveiller ?

## Application d'enrobés routiers

Conducteurs finisseur, régleurs finisseur, tireurs râteau, compacteurs, alimentateurs



## Dépollution des sols

Opérateurs à pied, conducteurs pelle mécanique, conducteurs camion, ingénieurs, échantillonneurs



# A quels moments prélever les échantillons?

## Application d'enrobés routiers

Matrice biologique: Urines

Après quelques jours de chantiers (au moins 3-4) pour refléter l'exposition des derniers jours

Fin de poste de travail (FP)

Lendemain matin (si possible techniquement et en termes d'organisation) pour évaluer exposition cutanée

Journée représentative de l'exposition habituelle

! Conditions météorologiques (annuler si pluie !)

## Dépollution des sols (à adapter)

Matrice biologique: Urines (sauf Plomb: sang)

Après 2-3 semaines de dépollution (minimum) pour refléter l'exposition correctement (cas des métaux)

Après quelques jours de dépollution (cas des BTEX)

Intérêt dans certains cas de recueillir des échantillons avant le début du chantier (exposition chronique, polluants bioaccumulatifs)

Début et en cours de chantier

Début de poste (début de chantier), Fin de poste (cours de chantier)

Semaine représentative de l'exposition en phase de dépollution (pas lors de la mise en place du chantier)

! Conditions météorologiques (annuler si chantier extérieur non couvert et pluie !) si chantier non couvert

# Recueil des échantillons sur le terrain

## Application d'enrobés routiers

### Locaux: base de vie chantier

Envoi du matériel (flacons, FRMP, boites de transport, pains de glace) quelques jours en amont

Présence SPST BTP souhaitable (IDEST ou IPRP) pour rappeler les consignes (hydratation, horaires de recueil, saisie infos FRMP, conservation échantillons)



## Dépollution des sols

### Locaux: base de vie chantier

Envoi du matériel (flacons, FRMP, boites de transport, pains de glace) quelques jours en amont

Si prél sanguin et pas d'IDE: labo de proximité (avant prise de poste)

Présence SPST BTP souhaitable (IDEST ou IPRP) pour rappeler les consignes (hydratation, horaires de recueil, saisie infos FRMP, conservation échantillons)...

....mais parfois impossible (chantiers éloignés)

⇒ mise à disposition des agents: glaciaires + matériel



En cas de sous-traitance:  
échanger entre SPST EU et ST!

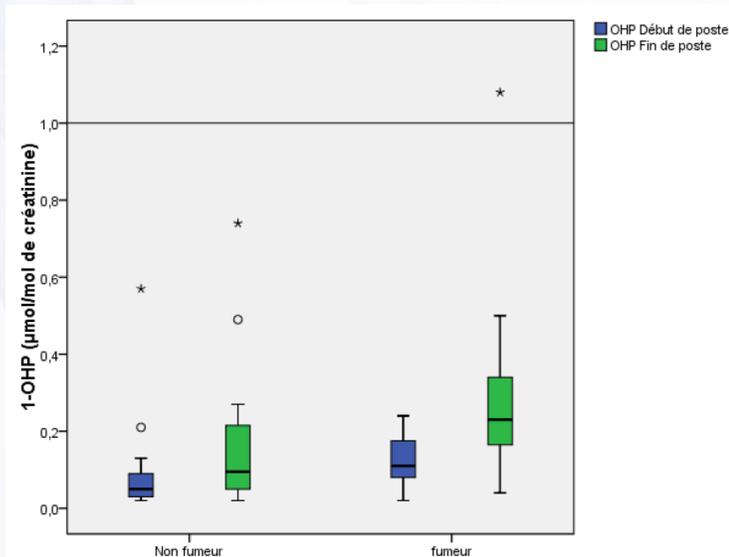
# Modalités d'interprétation des résultats

## Application d'enrobés routiers

Interprétation vis-à-vis des VBI (milieu professionnel) et des VBR (population générale)

Antériorités ? Durée du chantier ? EPC ? (aspiration des fumées) Tenues de travail ? EPI (masque, gants) ? % liant ? Température d'application de l'enrobé ? Tabac ?

Suj	Tabac	DP	FP
1	NF	0,02	0,10
2	NF	0,59	0,78
3	F	0,07	0,40
4	NF	0,01	0,45
5	F	0,08	0,17
6	F	0,10	1,10
7	F	0,05	0,31

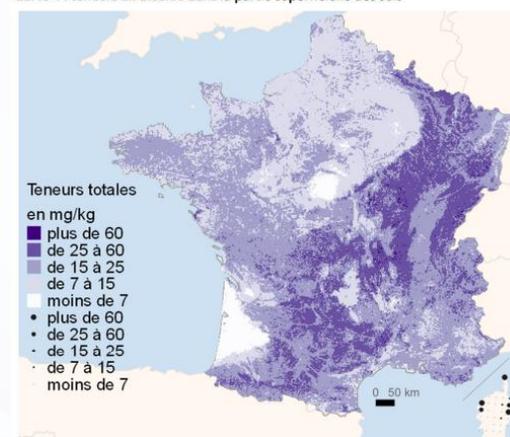


## Dépollution des sols

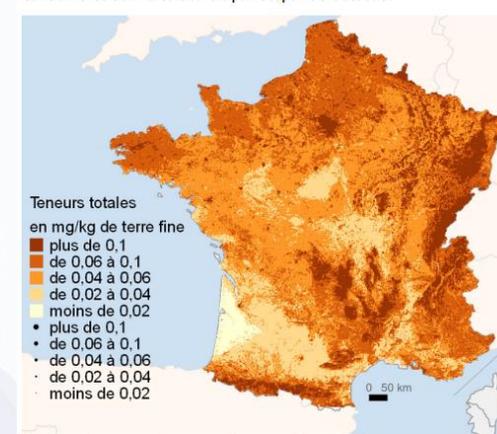
Interprétation vis-à-vis des VBI (milieu professionnel) et des VBR (population générale)

Nature de la dépollution ? Arrosage des terres ? Confinement du chantier ? EPI (masque, gants) ? Cohérence avec mesures polluants dans les sols ?

Carte 4 : teneurs en arsenic dans la partie superficielle des sols



Carte 5 : teneurs en mercure dans la partie superficielle des sols



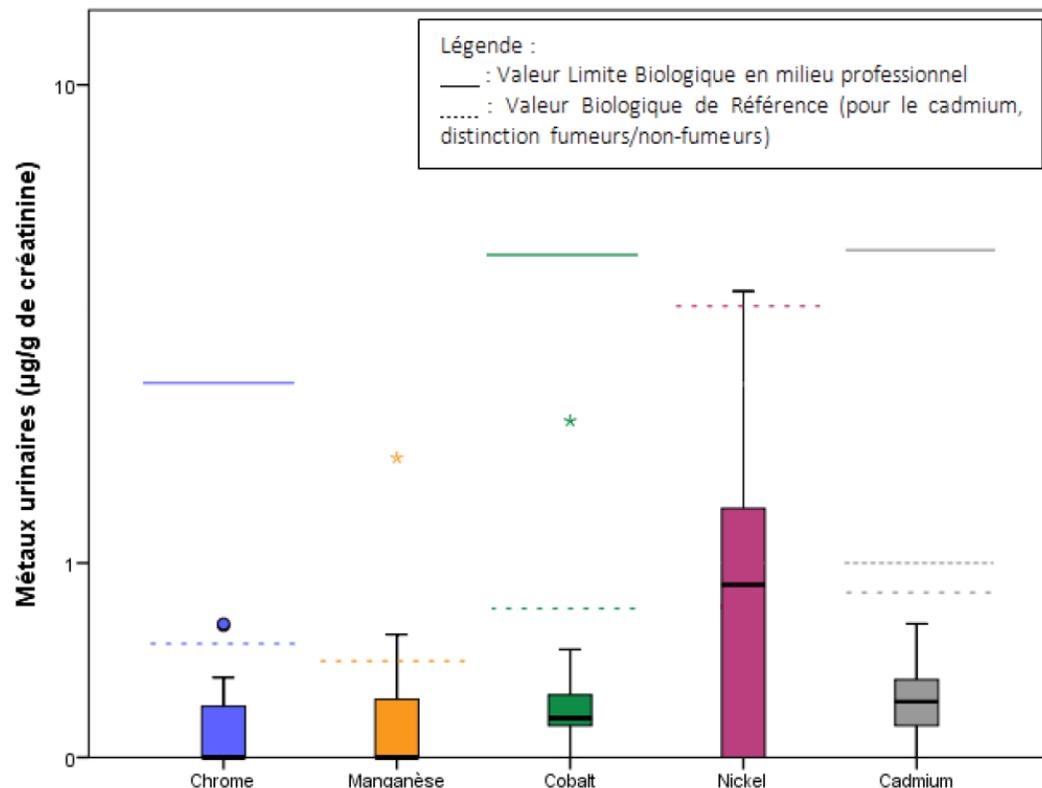
Ministère de la transition écologique – Note méthodologique: cartographie des contaminations diffuses et pollutions ponctuelles de l'arsenic et du mercure dans les sols, Dec 2021

# Résultats issus de nos études

## Dépollution des sols

Une quinzaine de chantiers suivis entre 2017 et 2023; chantiers de quelques semaines à plusieurs mois, excavation des terres en extérieur, sans tente de confinement, avec/sans arrosage des terres

### Métaux urinaires



**Résultats globalement rassurants, ne mettant pas en évidence de sur-imprégnation aux métaux** (Hg non recherché), en cohérence avec d'autres études (*Testud et al, 2021*)

Quelques exceptions néanmoins:

- **Arsenic: expositions plus fortes relevées chez des ingénieurs / techniciens de contrôle intervenant ponctuellement** (mais plusieurs fois par an) sur les sites (audits, prélèvements)
- **HAP: fortes expositions mesurées sur un site pollué sur lequel passait une voie ferrée: contamination des terres par la créosote** (dégradation des traverses en bois)

# Résultats issus de nos études

## Application d'enrobés routiers

36<sup>e</sup>  
Journées Nationales  
de Santé au Travail  
dans le BTP

Synthèse des données d'exposition professionnelle aux fumées de bitumes et aux HAP (Reco. ANSES 2013) sur des dizaines de chantier français suivis entre 2012 et 2022

Activités suivies: **production d'enrobés, application mécanisée et manuelle d'enrobés bitumineux, application d'asphalte coulé, rabotage d'anciens revêtements**

63 chantiers, 290 travailleurs, 623 prélèvements d'air, 130 prélèvements urinaires

Analyses HAP et fumées de bitumes, screening des COV, biométrie (métabolites des HAP)



Bitumen fumes and PAHs in asphalt road paving: Emission characteristics, determinants of exposure and environmental impact

Julie Germin-Aizac, Anne Maitre, Franck Balducci, Sarah Montlevier, Marie Marques, Justine Tribouiller, Christine Demeilliers, Renaud Persoons\*

*University of Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, CHU Grenoble Alpes, TIMC, 38000, Grenoble, France*

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115824>

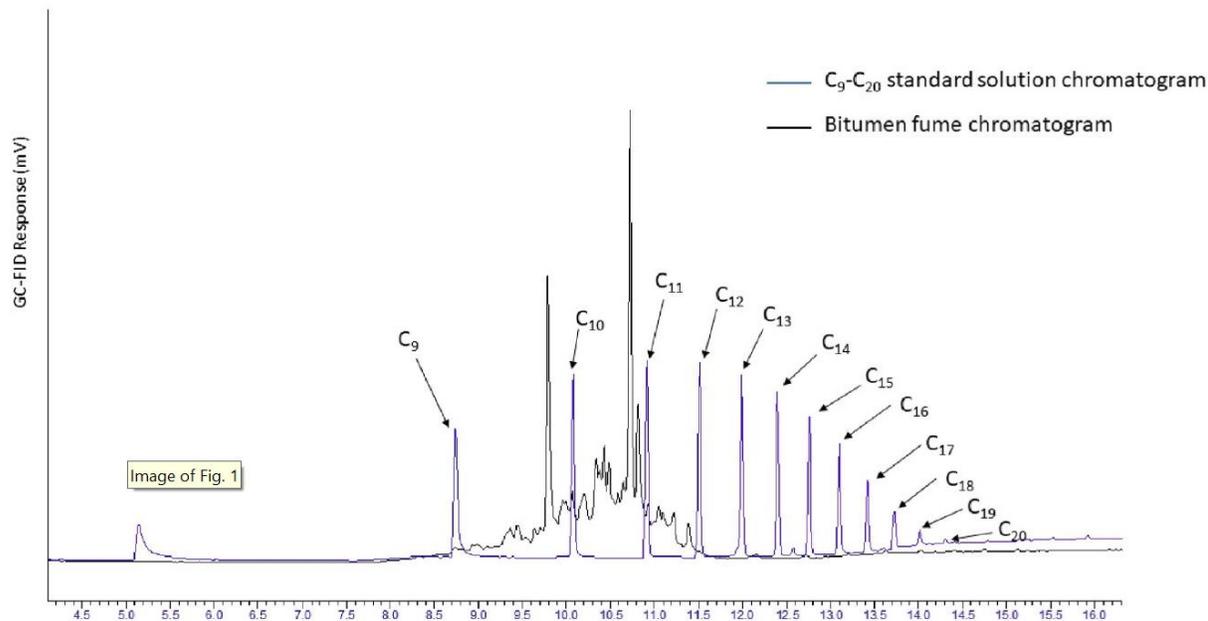
Received 30 January 2023; Received in revised form 29 March 2023; Accepted 31 March 2023

# Résultats issus de nos études

## Application d'enrobés routiers

Identification du profil typique des fumées de bitumes  
(Hydrocarbures aliphatiques C<sub>8</sub>-C<sub>20</sub>) en GC-MS

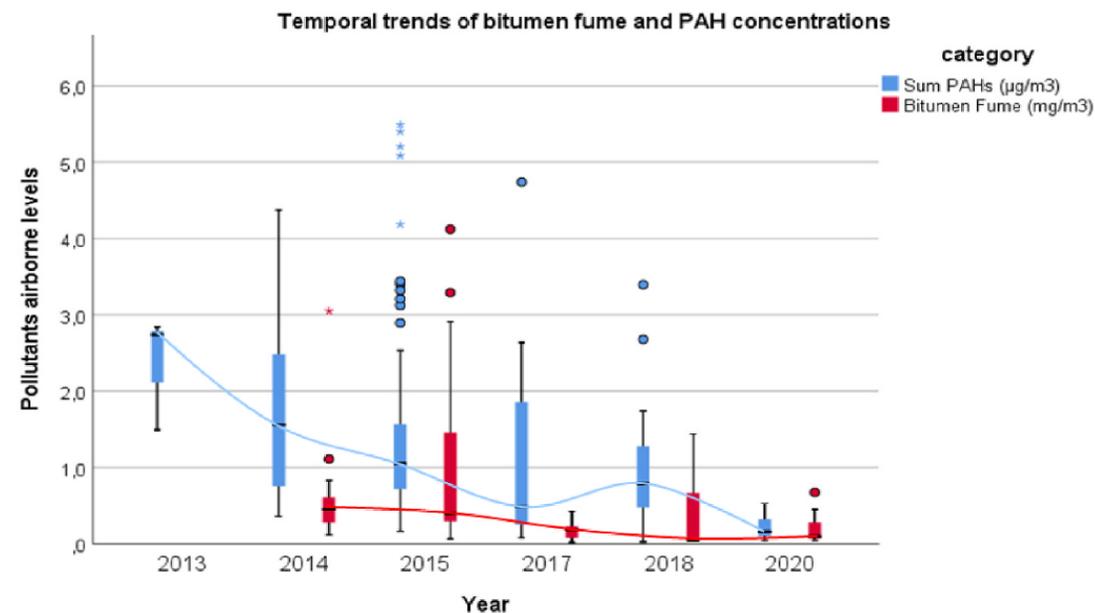
**HAP très dominés par les composés légers (2-4 cycles  
aromatiques), notamment Naphtalène (IARC 2B)**



### Evolution à la baisse des expositions

professionnelles sur la dernière décennie:

- Niveaux médians d'HAP divisés par 17
- Niveaux médians de FB divisés par 5



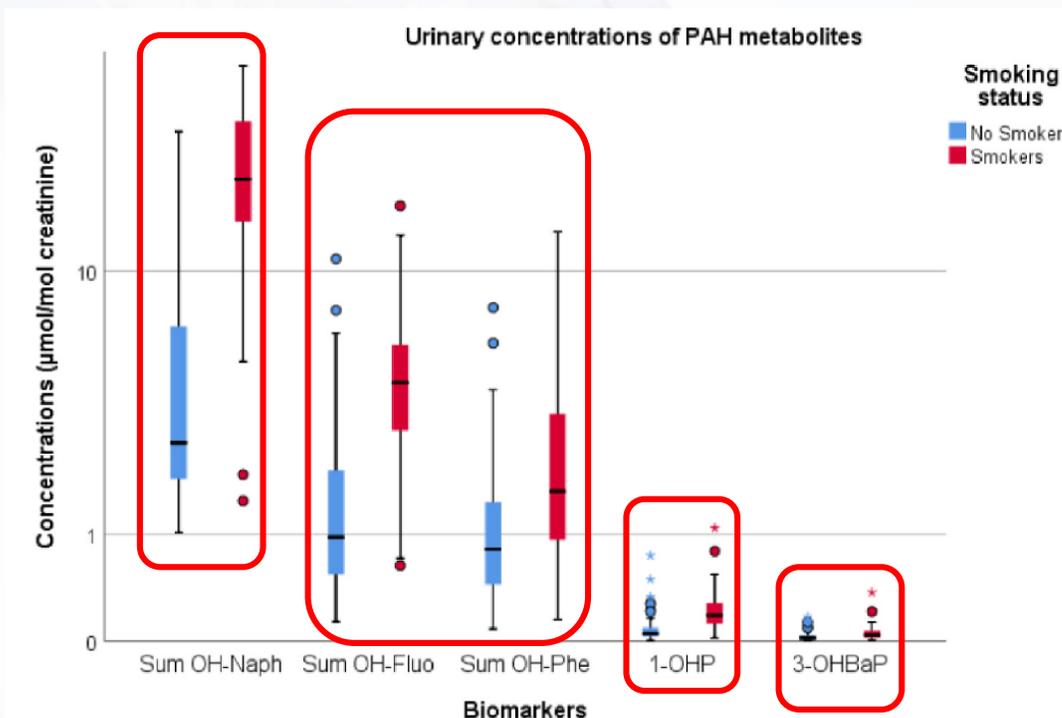
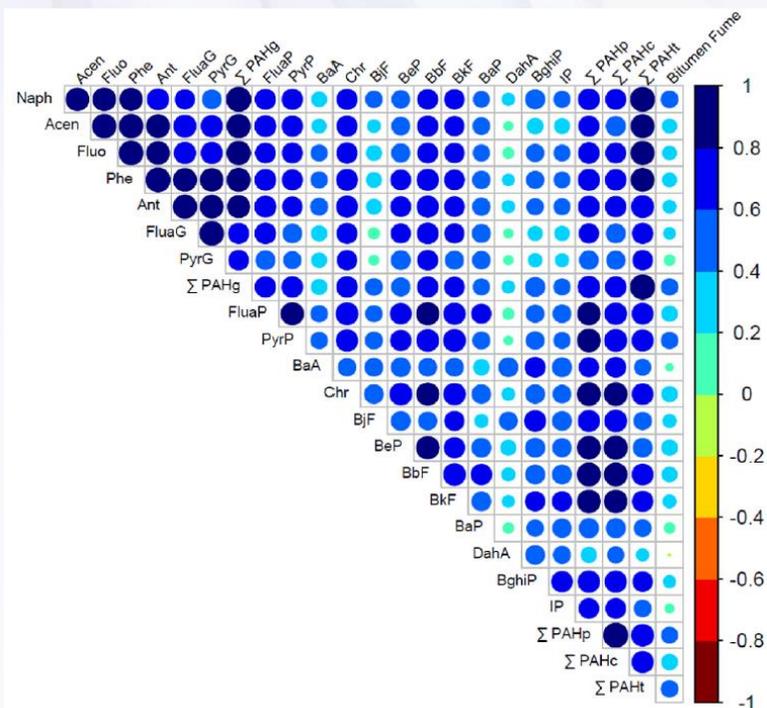
# Résultats issus de nos études

## Application d'enrobés routiers

Fortes corrélations ( $R^2 > 0.8$ ) entre les niveaux d'HAP gazeux, d'HAP particulaires, mais **absence de corrélation entre fumées de bitumes et HAP**

Surveillance biologique HAP:

- Prépondérance des métabolites du Naphtalène (mais sans sortir du bruit de fond populationnel et très influencé par tabagisme)
- **Intérêt des métabolites du Fluorène et Phénanthrène** (bonne corrélation avec l'exposition, faiblement influencés par tabac)



- 1-hydroxypyrene très faible et fortement influencé par tabagisme
- 3-OHBAp souvent indétectable (sauf si raboutage d'anciens revêtements contenant des goudrons)

# Déterminants de l'exposition identifiés

Dependent variables	Mechanical Road Paving (MERP)						Mastic Asphalt paving (MASP)						
	Ln (PAHg) n=180		Ln (PAHp) n=180		Ln (Bitumen Fume) n=66		Ln (PAHg) n=43		Ln (PAHp) n=43		Ln (Bitumen Fume) n=34		
Independent variables	p	β [95% CI]	p	β [95% CI]	p	β [95% CI]	p	β [95% CI]	p	β [95% CI]	p	β [95% CI]	
T° d'application ←	Paving Temperature (°C)	0.035	0.012 [0.001;0.02]	<0.001	0.038 [0.02;0.05]	<0.001	0.045 [0.024;0.067]	0.001	0.038 [0.018;0.058]	<0.001	0.08 [0.06;0.10]	<0.001	0.05 [0.026;0.075]
% de liant ←	Proportion of binder (%)	<0.001	0.22 [0.13;0.31]	NS		<0.001	0.386 [0.21;0.56]	NS	0.07*	* close to significance but VIF>2.5	0.06*	* close to significance but VIF>2.5	
T° extérieure ←	Outdoor Temperature (°C)	NS		0.015	-0.04 [-0.07;-0.008]	NS		NS	0.003	-0.169 [-0.27;-0.06]	NS		
	Proportion of recycled asphalt mix (%)	NS		NS		NS		NS					
Tonnes enrobé ←	Quantities of asphalt paved (Tons)	0.004	0.001 [<0.001;0.001]	NS		<0.001	0.002 [0.001;0.002]	NS	NS		NS		
Variabilité expliquée ←	% of explained variance accounted for by the regression model (R <sup>2</sup> , %)		12%		18%		36%		34%		73%		47%
	Regression model statistical significance (p)	<0.001		<0.001		<0.001		0.001		<0.001		<0.001	

# Qu'en tirer comme conclusions ?

## Application d'enrobés routiers

Exposition représentative du chantier ?

Exposition maîtrisée au regard des VLEP / VLB / VBI ?

Marge de progrès (VBR) ?

Port des EPI suffisants et adaptés ?

Recommandations (co-exposition HAP/fumées et UV, hydratation, EPI (stockage, entretien, changement)

Adaptation surveillance médicale en fonction des résultats (fonction respiratoire, pathologies cutanées)

## Dépollution des sols

Exposition représentative de quelle période ?

Exposition maîtrisée au regard des VLEP / VLB / VBI ?

Cohérence avec les analyses des sols ? Testud et al, Arch Mal Prof Env 2021

Port des EPI suffisants et adaptés ?

Recommandations (poches de pollutions, EPI (stockage, entretien, changement))

Adaptation surveillance médicale en fonction des résultats (fonction respiratoire, neuro (Hg, Pb)...) )

# Conclusions

*« Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas, c'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles. »*

**Sénèque**

*« N'ayez-pas peur, avancez, faites! »*

**Pr Paul Frimat, Journées Toxilog, Lille 2022**

*« To learn to succeed, you must first learn to fail. »*

**Michael Jordan**