

## Note technique

*Travaux financés par le ministère chargé de l'environnement*

### SURVEILLANCE DU BENZENE

Utilisation des lignes de prélèvement actif associées aux systèmes automatiques et préleveurs actifs pour la surveillance du benzène et des autres composés aromatiques

T. LEONARDIS, S. CRUNAIRE et N. LOCOGE (IMT Lille Douai)

### SYNTHESE DES TRAVAUX

Conformément aux exigences de la Directive Européenne 2008/50/CE [1] et aux recommandations du guide pour la surveillance du benzène dans l'air ambiant (version 2014) [2], les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) réalisent depuis plusieurs années des prélèvements de benzène par pompage actif. Le guide de recommandations dans sa version actuelle donne des préconisations concernant la mise en œuvre des lignes de prélèvement associées aux analyseurs automatiques et aux préleveurs actifs.

Des travaux réalisés en 2015 ont montré que pour garantir au mieux la fiabilité des mesures actives du benzène et des autres composés aromatiques d'intérêt (toluène, éthylbenzène et xylènes), il convenait de privilégier l'utilisation de lignes de prélèvement ayant le plus faible volume mort possible, en acier inoxydable pour la surveillance des composés aromatiques ramifiés et que pour le benzène uniquement, le PFA (un copolymère du Téflon « PTFE ») pouvait convenir.

Cette solution est difficile à mettre en œuvre sur le terrain pour l'installation de certains points de mesure à cause de la rigidité des tubulures en acier inoxydable. Ce constat a conduit à la réalisation d'une nouvelle série d'essais avec des lignes réalisées à partir de matériaux souples et de longueur n'excédant pas 5 mètres (longueur maximale utilisée par les AASQA).

Les essais réalisés ont permis de tester l'influence de deux matériaux : le PFA (un copolymère du « PTFE ») et le PTFE (souvent appelé « Téflon ») et de la passivation des lignes avant leur première utilisation.

**Sur la base des expérimentations menées en laboratoire, les recommandations en matière de ligne de prélèvement pour le prélèvement et la mesure des composés aromatiques sont :**

- De limiter au maximum le volume mort en privilégiant des lignes de faible section (1/8") et les plus courtes possibles (< 10m) ;
- De procéder au remplacement complet des lignes de prélèvement plutôt qu'à leur nettoyage. La fréquence de remplacement ne doit pas excéder 2 années mais est laissée au libre arbitre des utilisateurs en fonction notamment de la typologie du site et de son taux d'empoussièrement ;
- Pour le prélèvement ou la mesure du benzène uniquement, d'utiliser indifféremment des lignes de prélèvement en acier inoxydable, en PFA ou en PTFE dont la longueur maximale est fixée à 10m et ayant subies une étape préalable de passivation ;
- Pour le prélèvement ou la mesure simultané du benzène, du toluène et de l'éthylbenzène d'utiliser indifféremment des lignes de prélèvement en acier inoxydable ou en PFA dont la longueur maximale est fixée à 10m et ayant subies une étape préalable de passivation ;
- Pour le prélèvement ou la mesure simultané de l'ensemble des BTEX, seul l'acier inoxydable peut convenir.

## 1. CONTEXTE - INTRODUCTION

---

Conformément aux exigences de la Directive Européenne 2008/50/CE [1] et aux recommandations du guide pour la surveillance du benzène dans l'air ambiant [2], les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) réalisent depuis plusieurs années des prélèvements de benzène par pompage actif sur des cartouches contenant du Carbopack X. Dans le guide méthodologique (v.2014), il subsiste des points pour lesquels des préconisations ont été faites sans avoir été validées expérimentalement sur le terrain. Notamment, le paragraphe ayant trait aux lignes de prélèvement indique ceci : « *La ligne de prélèvement associée doit être réalisée en Téflon ou en acier inoxydable. Il faudra veiller à ce que la ligne de prélèvement ait le plus faible volume mort possible. Pour cela, on préférera une ligne réalisée avec un tube de faible section (1/8" ou 3-6 mm) qui soit la plus courte possible. Le préleveur doit être installé sans dispositif de séchage de l'air prélevé (sécheur comme par exemple une membrane Nafion). Dans le cas des préleveurs installés sur des sites pour lesquels la teneur en particules est importante, il est possible d'ajouter en tête de la ligne de prélèvement un filtre composé par un matériau chimiquement inerte comme l'acier inoxydable ou le Téflon, de porosité inférieure ou égale à 7 µm. Dans l'état actuel des connaissances, il est vivement conseillé de procéder à une étape de purge et passivation de la ligne de prélèvement en forçant le passage d'air ambiant à un débit de plusieurs litres par minutes pendant 15 minutes minimum à l'aide d'une pompe externe.*

*N. B. : Les conditions de passivation de la ligne de prélèvement ont été convenues en se référant aux procédures mises en place pour les lignes de prélèvement associées aux analyseurs automatiques pour les gaz inorganiques (O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, etc.). Ces conditions seront validées et ajustées au besoin par le LCSQA et feront l'objet le cas échéant d'un addendum au présent document. »*

Le point concernant la membrane Nafion a fait l'objet de précédents travaux LCSQA [3].

La présente note fait suite à la note parue en 2015 [4] et traite plus particulièrement des points relatifs aux matériaux constitutifs de la ligne de prélèvement, à sa longueur, à sa passivation et à son nettoyage.

## 1.1 Rappel des résultats de l'étude de 2015 [4]

Les essais de 2015, réalisés pour différentes lignes de prélèvement et sur l'ensemble de BTEX, ont aboutis aux conclusions suivantes :

- Les lignes de prélèvement de 1/8'' de diamètre externe, en acier inoxydable et de longueur inférieure à 10 m peuvent être utilisées directement pour les prélèvements actifs de l'ensemble des BTEX à un débit minimum de 10 mL.min<sup>-1</sup> d'air ambiant ;
- Les lignes de prélèvement de 1/8'' de diamètre externe, en PFA et de longueur inférieure à 10 m peuvent être utilisées directement pour les prélèvements actifs à un débit minimum de 10 mL.min<sup>-1</sup> d'air ambiant mais pour la mesure du benzène uniquement ;
- Les lignes de prélèvement de 1/8'' de diamètre externe, en PFA et de longueur inférieure à 2 m peuvent être utilisées pour les prélèvements actifs à un débit minimum de 10 mL.min<sup>-1</sup> d'air ambiant pour la mesure des BTEX après une durée de passivation minimale de 10 heures ;
- Les lignes de prélèvement de 1/8'' de diamètre externe, en PFA et de longueur supérieure à 2 m ne doivent pas être utilisées pour les prélèvements actifs à un débit minimum de 10 mL.min<sup>-1</sup> d'air ambiant pour la mesure des TEX. Pour ces composés, des fluctuations des concentrations au cours du temps laisse présager de possibles effets de perméation de ces composés au travers de la ligne d'échantillonnage.

## 1.2 Décisions de la commission de suivi HAP, métaux lourds, benzène du 11 octobre 2016 [5]

Les résultats de l'étude de 2015 ont été présentés lors de la réunion de la commission de suivi du 10 octobre 2016. Les échanges de conclusion ont indiqué que lors de la mise en œuvre des systèmes pour le prélèvement actif ou la mesure on-line des teneurs en composés aromatiques monocycliques dans l'air ambiant, il était souvent **contraignant de ne pas pouvoir utiliser un matériau souple et que par ailleurs il était extrêmement rare d'avoir recours sur le terrain à des lignes de longueur supérieure à 5m.**

En accord avec les membres de la commission de suivi « HAP – métaux lourds – benzène », une **enquête** est donc à organiser auprès des responsables techniques des AASQA afin de définir plus précisément les éléments à prendre en compte pour la poursuite de cette étude (ex. : utilisation de lignes 1/4", utilisation de lignes en PTFE, longueur maximale de 5m, etc.) et pour permettre de **chiffrer** avec une plus grande exactitude les coûts associés à une recommandation sur le changement de l'intégralité des lignes de prélèvement par de nouvelles lignes de prélèvement.

Par ailleurs, les membres de la commission de suivi s'interrogent sur les **préconisations de nettoyage** à mettre en œuvre et sur la **durée maximale d'utilisation** des lignes de prélèvement BTEX.

## 2. ENQUETE AUPRES DES AASQA

---

Un questionnaire a été établi par le LCSQA et envoyé à l'ensemble des responsables techniques des 28 AASQA françaises en novembre 2015. Ce questionnaire portait sur le nombre de préleveurs actifs en usage ou qu'il était prévu de mettre en œuvre courant 2016, les autres questions étaient toutes relatives aux lignes de prélèvement associées à ces préleveurs et à leurs mises en œuvre sur le terrain.

Le taux de réponse a avoisiné les 60%. Fin 2015, c'était en moyenne 3 préleveurs qui équipaient chacune des AASQA (min = 0 ; max = 12) et de nouveaux étaient encore prévus pour 2016. Plus de 80% des utilisateurs utilisent du tube souple soit en PTFE soit en PFA comme ligne de prélèvement. L'utilisation de l'acier inoxydable est nettement plus marginale. De même, plus de 80% des lignes de prélèvement sont des lignes 1/8" ou 3-6 mm et ont une longueur maximale comprise entre 2 et 5 mètres. Néanmoins, quelques rares applications nécessitent des lignes jusqu'à 10 mètres.

A part un cas particulier, tous les préleveurs actifs sont reliés directement à une ligne unique qui est donc balayée au même débit que le débit de prélèvement fixé.

Concernant la mise en œuvre et les protocoles d'usage des lignes de prélèvement, l'enquête a mis en avant que le recours à la passivation avant utilisation d'une ligne neuve et le nettoyage ou remplacement des lignes en usage étaient rares (< 20% des répondants).

Compte-tenu de ces pratiques, il a été décidé d'axer **les essais sur des lignes en PTFE et PFA de 1/8" de diamètre externe**.

## 3. MISE EN ŒUVRE EXPERIMENTALE

---

Les lignes de prélèvements testées dans cette étude ont toutes un diamètre externe de 1/8" afin de garantir des temps de séjour les plus courts possibles et inférieurs à 5 minutes (soit une perte par oxydation inférieure à 1%<sup>1</sup> pour le m-xylène, le plus réactif des BTEX). Différentes configurations de lignes de prélèvement ont été testées dans cette étude :

---

<sup>1</sup> Calcul réalisé pour l'oxydation par les radicaux OH d'une concentration en m-xylène initiale de 5 µg.m<sup>-3</sup> ([OH]=2.10<sup>6</sup> molec.cm<sup>-3</sup> ; [mX]<sub>0</sub>=2,8.10<sup>10</sup> molec.cm<sup>-3</sup> ; k=2,1.10<sup>-11</sup> cm<sup>3</sup>.molec<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>)

- Lignes en PTFE (PolyTétraFluoroEthylène, communément appelé « Téflon ») de 5 m de longueur neuves et lignes en PTFE passivées<sup>2</sup> de 5 m de longueur ;
- Lignes en PFA (PerFluoroAlkoxyde, copolymère du « PTFE »,) de 5 m de longueur neuves et lignes en PFA passivées<sup>2</sup> de 5 m de longueur ;

Il est à noter que selon la littérature, à épaisseur et température équivalente, le PFA présente une perméabilité (taux de perméation) à l'air environ deux fois plus faible que le PTFE ( $P_{\text{air,PFA}} = 1150 \text{ mL}/(\text{m}^2 \cdot \text{jour} \cdot \text{atm})$  ;  $P_{\text{air,PTFE}} = 2000 \text{ mL}/(\text{m}^2 \cdot \text{jour} \cdot \text{atm})$  ; épaisseur = 100  $\mu\text{m}$  ; température = 23°C) [6].

Les lignes de 5 m de longueur (0,063 inch = 1,6 mm de diamètre interne) correspondent à des temps de séjour d'environ 60 secondes pour des prélèvements réalisés à un débit nominal de 10 mL.min<sup>-1</sup>.

Les essais ont été conduits en utilisant un mélange étalon à une humidité relative de 50 % et contenant des concentrations de 5  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  pour chacun des composés suivants : benzène (B), toluène (T), éthylbenzène (E), *o*-xylène (*oX*), *m*-xylène (*mX*) et *p*-xylène (*pX*). Les échantillons ont été prélevés à un débit de 10 mL.min<sup>-1</sup> soit directement en entrée d'un chromatographe muni d'un thermodésorbeur en ligne (marque : PerkinElmer) soit après être passé par la ligne de prélèvement. Ainsi, pour chacune des configurations différentes de lignes de prélèvement, chacune des expériences comprenaient au moins 3 phases :

- Passage étalon « en voie directe » pendant 5 à 15 heures ;
- Passage étalon « via la ligne de prélèvement » pendant 5 à 15 heures ;
- Passage étalon « en voie directe » pendant 5 à 15 heures.

Pour chacune des configurations c'est ainsi une différence relative  $\Delta x_{L-D}$  entre la moyenne des voies « directes »  $x_{\text{direct}}$  (avant et après passage par ligne de prélèvement) et la voie « ligne de prélèvement »  $x_{\text{ligne}}$  qui a pu être déterminée (voir équation ci-dessous,  $c_t$  est ici la concentration nominale en gaz d'essai).

$$\Delta x_{L-D} = \frac{x_{\text{ligne}} - x_{\text{direct}}}{c_t} \times 100$$

Selon les critères indiqués dans la norme NF EN 14662-3 (2015) [7], il faudrait que cette différence relative soit inférieure ou égale à 1% (soit 0,05  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  pour des essais conduits à la valeur limite  $v_L=5 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Il est à noter cependant, que dans la norme en question, il est demandé d'utiliser un gaz à une concentration correspondant à 70-90% de la gamme de certification mais que dans notre cas nous avons fait le choix d'un gaz à la  $v_L$  car pour la surveillance réalisée par les AASQA se sont plus de 95% des valeurs qui sont inférieures à cette concentration limite pour le benzène.

---

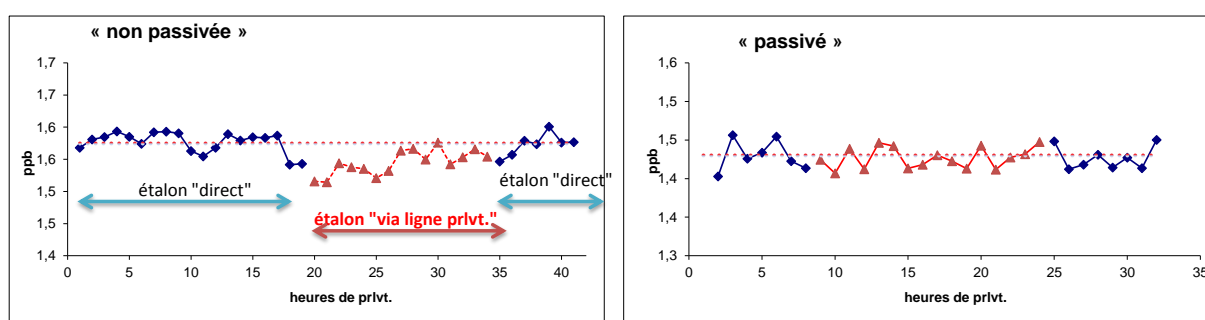
<sup>2</sup> La passivation consiste dans le cas présent à faire circuler, à travers la ligne, un flux d'air ambiant à un débit d'environ 200 mL/min pendant 24 heures

## 4. RESULTATS OBTENUS AVEC DES LIGNES NEUVES, PASSIVEES OU NON PASSIVEES

### 4.1 Cas du benzène

#### 4.1.1 Lignes en PTFE (« Téflon »)

Les résultats obtenus pour le benzène avec des lignes neuves en PTFE de 5 m passivée et non-passivée sont présentés sur les figures qui suivent (cf. Figure 1). La ligne pointillée rouge représente la teneur nominale calculée à partir de la dilution de la bouteille étalon utilisée. Les points bleus représentent les concentrations déterminées sans utiliser la ligne de prélèvement et les points rouges représentent les concentrations déterminées avec la ligne de prélèvement en place.

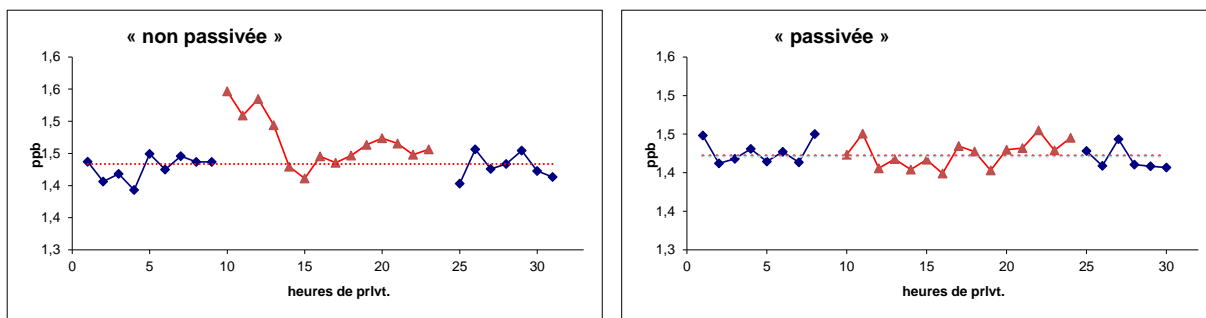


**Figure 1 :** (gauche) Concentrations individuelles en benzène déterminées avec (points bleus) et sans (points rouges) l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PTFE neuve, non-passivée, de 5 m et 1/8'' (OD) – (droite) Concentrations individuelles en benzène déterminées avec (points bleus) et sans (points rouges) l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PTFE, neuve, passivée, de 5 m et 1/8'' (OD).

D'après les résultats présentés sur les deux graphiques du dessus, les différences relatives pour le benzène calculées selon l'équation donnée au paragraphe 3 sont égales, respectivement pour la ligne non passivée et la ligne passivée, à -2,0% et -0,2%. Ainsi, les lignes de prélèvement en PTFE, d'un diamètre externe de 1/8'' et pour de longueur inférieure ou égale à 5 m, n'impactent que très légèrement les mesures de benzène effectuées par prélèvement actif à un débit de  $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ . Par ailleurs, dans ce cas, l'étape de passivation préalable semble atténuer très sensiblement l'impact de la ligne.

#### 4.1.2 Lignes en PFA

De la même façon qu'au paragraphe précédent, les résultats obtenus pour le benzène avec des lignes neuves en PFA de 5 m passivée et non-passivée sont présentés sur les figures qui suivent (cf. Figure 2).



**Figure 2 :** (gauche) Concentrations individuelles en benzène déterminées avec (points bleus) et sans (points rouges) l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PFA neuve, non-passivée, de 5 m et 1/8" (OD) – (droite) Concentrations individuelles en benzène déterminées avec (points bleus) et sans (points rouges) l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PFA, neuve, passivée, de 5 m et 1/8" (OD).

D'après les résultats présentés sur les deux graphiques du dessus, les différences relatives pour le benzène calculées selon l'équation donnée au paragraphe 3 sont égales, respectivement pour la ligne non passivée et la ligne passivée, à 2,4% et 0,2%. **Ainsi, les lignes de prélèvement en PFA, d'un diamètre externe de 1/8" et pour de longueur inférieure ou égale à 5 m, n'impactent que très légèrement les mesures de benzène effectuées par prélèvement actif à un débit de 10 mL.min<sup>-1</sup>. Par ailleurs, dans ce cas, l'étape de passivation préalable semble atténuer très sensiblement l'impact de la ligne.**

## 4.2 Cas du toluène, de l'éthylbenzène et des xylènes

Des essais similaires à ceux présentés précédemment pour le benzène (B) ont été conduits pour d'autres hydrocarbures aromatiques monocycliques : toluène (T), éthylbenzène (E), *m,p*-xylènes (*mpX*) et *o*-xylène (*oX*). L'ensemble des résultats sont synthétisés dans les Tableaux 1 et 2 ci-dessous.

**Tableau 1 :** Concentrations individuelles en BTEX déterminées avec et sans l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PTFE neuve, non-passivée ou passivée, de 5 m et 1/8" (OD).

Concentration nominale (C <sub>T</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Ligne PTFE (1/8" ; 5m ; non-passivée)			Ligne PTFE (1/8" ; 5m ; passivée)		
	Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)	Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)
Benzène	4,7	5,0	-2,0%	4,6	4,6	-0,2%
Toluène	5,8	6,0	7,8%	5,5	5,7	4,1%
Ethylbenzène	6,4	6,6	-3,2%	6,1	6,0	-1,7%
<i>m,p</i> -xylènes	6,5	6,8	-2,2%	6,2	6,1	-1,5%
<i>o</i> -xylène	7,3	7,7	-3,9%	7,0	6,9	-1,6%

**Tableau 2** : Concentrations individuelles en benzène déterminées avec et sans l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PFA neuve, non-passivée ou passivée, de 5 m et 1/8" (OD).

	Concentration nominale ( $C_T$ ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ligne PFA (1/8" ; 5m ; non-passivée)			Ligne PFA (1/8" ; 5m ; passivée)		
		Concentration moyenne sans ligne ( $x_{\text{direct}}$ ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentration moyenne avec ligne ( $x_{\text{ligne}}$ ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Différence relative ( $\Delta x_{L-D}$ ; %)	Concentration moyenne sans ligne ( $x_{\text{direct}}$ ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentration moyenne avec ligne ( $x_{\text{ligne}}$ ; $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Différence relative ( $\Delta x_{L-D}$ ; %)
<b>Benzène</b>	4,7	4,6	4,7	2,4%	4,5	4,5	0,2%
<b>Toluène</b>	5,8	6,4	6,4	1,0%	5,5	5,5	0,1%
<b>Ethylbenzène</b>	6,4	6,9	7,0	0,8%	6,1	6,1	0,8%
<b>m,p-xylènes</b>	6,5	6,7	8,4	26,5%	6,1	6,8	10,4%
<b>o-xylène</b>	7,3	7,4	7,3	-2,3%	7,0	7,0	-0,1%

D'après les résultats présentés dans le Tableau 1, les différences relatives pour le toluène calculées selon l'équation donnée au paragraphe 3 et pour l'utilisation de lignes en PTFE non passivée et passivée, sont largement supérieures au critère d'acceptabilité fixé à 1%. Il en est de même mais dans une moindre mesure, pour les autres composés aromatiques étudiés. Par conséquent, **le PTFE ne semble donc pas adapté pour les mesures de concentration ou les prélèvements des composés aromatiques ramifiés.**

D'après les résultats présentés dans le Tableau 2, les différences relatives pour le toluène, l'éthylbenzène et l'o-xylène calculées selon l'équation donnée au paragraphe 3 et pour l'utilisation de lignes en PFA non passivée et passivée, sont acceptable vis-à-vis du critère fixé de 1%. Ceci est encore plus vrai s'il est fait recours à des lignes passivées. En revanche, pour le m-xylène et le p-xylène, les différences relatives sont très élevées (> 10%). **En conclusion, le PFA peut être utilisé après passivation pour l'ensemble des BTEX à l'exception des m,p-xylènes.**

### 4.3 Conclusions

Le Tableau 3 ci-dessous résume l'intégralité des résultats obtenus depuis 2015 et concernant les préconisations de mises en œuvre des lignes de prélèvement de prélèvement neuves de 1/8" de diamètre externe, associées aux préleveurs automatiques et par extension aux analyseurs automatiques de BTEX. Le code couleur utilisé indique en fond vert les types de lignes pouvant être mis en place sans restriction, en jaune les restrictions de longueur maximale, en orange les restrictions de longueur maximale et de durée minimale d'utilisation avant de pouvoir être utilisée et en rouge les configuration non satisfaisantes.



**Tableau 3** : Récapitulatif des configurations possibles et conditions de validité pour l'utilisation des lignes de prélèvement de 1,8'' (OD) en association à un préleveur ou un analyseur automatique de BTEX.

	Acier inox		PFA		PTFE	
	Non-passivée	Passivée	Non-passivée	Passivée	Non-passivée	Passivée
<b>Benzène</b>	OK jusque 10m	OK jusque 10m	OK jusque 5m mais après 7h	OK jusque 10m	OK jusque 5m mais après 7h	OK jusque 5m
<b>Toluène</b>			OK jusque 2m après 5h		Non	
<b>Ethylbenzène</b>			Non		OK jusque 5m	
<b>m,p-xylènes</b>			Non	OK jusque 5m	Non	OK jusque 5m
<b>o-xylène</b>						

## 5. RESULTATS OBTENUS AVEC DES LIGNES USAGEES

Des essais complémentaires ont été réalisés à la demande des membres de la commission de suivi « HAP – Métaux – Benzène » sur des lignes usagées afin d'apporter des éléments complémentaires sur la **durée maximale d'utilisation** des lignes de prélèvement BTEX et sur d'éventuelles **préconisations de nettoyage** à mettre en œuvre.

Pour cela, des lignes usagées ont été mises à disposition par Airparif. Il s'agissait de 2 lignes, ¼'' en PFA, de 2,2 et 4,3 mètres de longueur soit des temps de séjour respectifs de 2,7 et 5,3 minutes pour des prélèvements réalisés à un débit nominal de 10 mL.min<sup>-1</sup>. Les procédures internes à Airparif indiquent que ces lignes sont nettoyées tous les mois pour les sites trafic et tous les 3 mois pour les autres typologies de sites. Les lignes sont changées tous les 2 ans.

Compte-tenu des conclusions concernant les lignes de prélèvement neuves et notamment l'impossibilité d'utiliser les lignes en PFA pour les prélèvements de *m,p*-xylènes, les résultats présentés dans les Tableaux 4 et 5 ont porté uniquement sur le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et l'*o*-xylène. Les conditions de réalisation sont les mêmes que celles présentées au paragraphe 3.

**Tableau 4** : Concentrations individuelles en BTE et oX déterminées avec et sans l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PFA usagée et non nettoyée, de 2,2 m ou 4,3m et 1/4'' (OD).

	Concentration nominale (C <sub>T</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	PFA usagée (1/4'' ; 2,2m)			PFA usagée (1/4'' ; 4,3m)		
		Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)	Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)
<b>Benzène</b>	4,6	4,6	4,5	-2,5%	4,6	4,6	-0,8%
<b>Toluène</b>	5,2	5,1	4,9	-3,7%	5,4	5,3	-1,9%
<b>Ethylbenzène</b>	5,7	5,5	5,2	-5,0%	6,0	5,9	-2,2%
<b>o-xylène</b>	5,8	5,7	5,4	-4,9%	6,2	6,0	-3,3%

D'après les résultats présentés dans le Tableau 4 et d'une manière générale, les différences relatives sont meilleures pour la ligne de prélèvement usagée de 4,3 m que pour celle de 2,2m. Les résultats obtenus pour le benzène ne satisfont au critère d'acceptabilité fixé à 1% que dans le cas de l'utilisation de cette ligne usagée de 4,3 m (-0,8%). N'ayant pas plus d'information sur le vécu subi par ces 2 lignes, il est impossible à ce stade de l'étude de tirer plus de conclusions.

Des essais de nettoyage des 2 lignes ont été menés en balayant les lignes avec de l'air zéro humide à un débit de 500 mL.min<sup>-1</sup> pendant une durée de 4h. Les résultats obtenus avec les lignes nettoyées sont synthétisés dans le Tableau 5.

**Tableau 5 :** Concentrations individuelles en BTE et oX déterminées avec et sans l'utilisation d'une ligne de prélèvement en PFA usagée et nettoyée, de 2,2 m ou 4,3m et 1/4" (OD).

	Concentration nominale (C <sub>r</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	PFA usagée et nettoyée (1/4" ; 2,2m)			PFA usagée et nettoyée (1/4" ; 4,3m)		
		Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)	Concentration moyenne sans ligne (x <sub>direct</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Concentration moyenne avec ligne (x <sub>ligne</sub> ; µg/m <sup>3</sup> )	Différence relative (Δx <sub>L-D</sub> ; %)
<b>Benzène</b>	4,6	4,6	4,4	<b>-2,9%</b>	4,6	4,4	<b>-4,6%</b>
<b>Toluène</b>	5,2	5,1	5,0	<b>-3,5%</b>	5,2	5,0	<b>-4,5%</b>
<b>Ethylbenzène</b>	5,7	5,5	5,3	<b>-3,7%</b>	5,6	5,3	<b>-5,2%</b>
<b>o-xylène</b>	5,8	5,6	5,4	<b>-3,6%</b>	5,8	5,4	<b>-6,3%</b>

D'après les résultats présentés dans le Tableau 5 et à la différence des résultats obtenus pour les lignes non nettoyées, les différences relatives sont cette fois meilleures pour la ligne la plus courte (facteur 1,5 en moyenne). Néanmoins, il n'y a plus aucun composés pour lequel le critère d'acceptabilité fixé à 1% est atteint (valeur minimale obtenue pour le benzène et la ligne de 2,2 m = -2,9%). Il semble que dans ce cas, l'action de nettoyage par de l'air humide ait favorisé la rétention de l'ensemble des composés aromatiques. Une étude de la tendance des concentrations mesurées au cours du temps avec la ligne de prélèvement en place, ne laisse pas présager d'amélioration à court terme de cette rétention. A ce stade de l'étude, il est impossible de mettre au point une procédure de nettoyage universelle et facile à mettre en œuvre pour les lignes de prélèvement associées aux préleveurs et aux analyseurs de BTEX et le remplacement périodique reste jusqu'à présent la meilleure option.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] Directive n°2008/50/CE du 21/05/08 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe
- [2] N. Locoge, T. Léonardis, S. Crunaire « Guide Méthodologique pour la Surveillance du Benzène dans l'Air Ambiant (version 2014) », 59 p., 2014
- [3] N. Locoge, T. Léonardis « Surveillance du benzène 2/2 : la méthode de référence (échantillonnage actif) », rapport LCSQA, 53 p., 2011
- [4] T. Léonardis, S. Crunaire et N. Locoge, « Surveillance du benzène : Préconisations concernant les lignes de prélèvement associées à la surveillance des BTEX par prélèvement actif », Note technique LCSQA, 8 p., 2015
- [5] A. Albinet et S. Verlhac, « Compte-rendu réunion du 11 octobre 2016 de la CS HAP, métaux, benzène », Compte-rendu LCSQA, 4 p., 2016
- [6] L. W. McKeen « Permeability properties of plastics and elastomers », 3<sup>rd</sup> ed., 344 p., 2012
- [7] NF EN 14662-3 ; Décembre 2015 ; Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en benzène - Partie 3 : prélèvement par pompage automatique avec analyse chromatographique en phase gazeuse sur site