



Association pour la mesure de la pollution atmosphérique de l'Auvergne



Campagne de mesure du benzène dans l'agglomération de Clermont-Ferrand



Novembre 2007 à mars 2008

A_tmo Auvergne

21 Allée Évariste Galois
La Pardieu

63170 AUBIÈRE

Tél. : 04 73 34 76 34

Fax : 04 73 34 33 56

Mél : contact@atmoauvergne.asso.fr

Site Internet : <http://www.atmoauvergne.asso.fr>

SOMMAIRE

INTRODUCTION – CONTEXTE DE LA CAMPAGNE	3
1 GENERALITES SUR LES POLLUANTS MESURES	3
1.1 Physico-chimie et sources	3
1.2 Effets sur la santé	3
1.3 Références normatives	4
2 MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE	5
2.1 Techniques de mesure.....	5
<i>Echantillonneur passif de benzène</i>	5
<i>Analyseur automatique de benzène</i>	5
2.2 Période de mesure	5
2.3 Sites de mesure	5
3 EXPLOITATION DES RESULTATS	8
3.1 Contexte météorologique durant la campagne	8
3.2 Assurance qualité des mesures par échantillonnage passif	11
<i>Blancs de terrain</i>	11
<i>Doublons</i>	11
<i>Comparaison des résultats de l'échantillonnage passif et des analyseurs automatiques</i>	12
3.3 Résultats des mesures de benzène	12
<i>Evolution temporelle des mesures par tubes passifs pendant la campagne</i>	14
<i>Reconstitution de la moyenne annuelle</i>	14
<i>Situation par rapport aux normes</i>	15
<i>Situation par rapport à la campagne de mesure de benzène de 2001</i>	15
<i>Similitudes avec les niveaux de dioxyde d'azote</i>	16
CONCLUSION	18
ANNEXE 1 : RESULTATS DETAILLES DES MESURES PAR ECHANTILLONNAGE PASSIF .	19

Introduction – Contexte de la campagne

Dans le cadre de l'exploitation du réseau de surveillance de la qualité de l'air de la communauté d'agglomération de Clermont-Ferrand, il est apparu souhaitable d'estimer les niveaux de benzène en de multiples points du territoire.

En effet, une campagne de mesure du dioxyde d'azote entreprise en hiver 2006-2007 a montré des niveaux importants de ce polluant dans certains carrefours clermontois. Atmo Auvergne s'est intéressée à un autre polluant primaire préoccupant et a ainsi décidé d'évaluer les niveaux de benzène dans l'agglomération, à l'aide de tubes à diffusion passive, en une vingtaine de points de typologie trafic. Cette campagne s'est déroulée du 14 novembre 2007 au 19 mars 2008.

1 Généralités sur les polluants mesurés

1.1 Physico-chimie et sources

Le benzène est un liquide volatil, avec une odeur aromatique. La formule brute de la molécule de benzène, composée de carbone et d'hydrogène, est C_6H_6 . En fonction de l'environnement, du climat et de la concentration d'autres polluants sa durée de vie dans l'atmosphère varie de quelques heures à quelques jours. La réaction avec les radicaux hydroxyle est sa voie de dégradation la plus importante, mais il peut également être lessivé de l'air par la pluie car il est légèrement soluble dans l'eau.

Le benzène peut être émis par des sources industrielles (synthèse chimique d'hydrocarbures, fours de cokerie...). Cependant, à l'échelle nationale, dans les rejets atmosphériques, sur un total de 55 000 tonnes en 2006 en France, les principales contributions sont celles du secteur résidentiel/tertiaire (combustion de biomasse, avec près de 42 % des émissions nationales en 2006) et des transports routiers (combustion d'hydrocarbures, environ 8 % des émissions) (source Citepa, 2008). Présent à l'origine dans les carburants, le benzène est également produit par les processus de combustion à l'intérieur du moteur. La pollution d'origine automobile est donc mixte : carburant et moteur. Enfin en atmosphère urbaine, il provient aussi de l'évaporation des carburants automobiles lors de leur stockage, de leur transport et de leur distribution.

Les émissions de benzène en France en milliers de tonnes et leur évolution entre 2000 et 2006 sont précisées dans le tableau suivant (source Citepa, Coralie, format Secten, mise à jour février 2008) :

	Transformation d'énergie	Industrie manufacturière	Résidentiel / tertiaire	Agriculture / sylviculture	Transport routier	Autres transports	Total
2000	1.1	1.1	64.6	1.1	17.4	2	87.3
2001	1	0.8	58.9	1.1	15.9	2.1	79.8
2002	1	1.1	51.2	1.1	13.9	2.3	70.6
2003	1	1	52.5	1	12.3	2.3	70.1
2004	0.9	1.1	49.8	1	11.1	2.3	66.3
2005	0.9	1.1	46	1	9.4	2.2	60.6
2006	0.8	1.1	41.8	1	8	2.2	54.9
Evolution 2000-2006	-26%	3%	-35%	-8%	-54%	10%	-37%

1.2 Effets sur la santé

Le benzène est classé cancérigène chez l'homme d'après le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC).

La voie principale d'exposition au benzène chez l'homme est l'inhalation. Bien que le pétrole représente une source importante d'émissions atmosphériques du benzène (plus de 80 %), il est responsable de moins de 20 % du benzène inhalé par les êtres humains. La cigarette est la principale source de l'exposition des êtres humains au benzène.

Très lipophile et faiblement soluble dans l'eau, le benzène est distribué dans les tissus riches en graisse : tissus adipeux et moelle osseuse. Il est oxydé dans le foie en phénol qui subit des transformations aboutissant à des métabolites toxiques.

Il n'existe pas de seuil identifiable en dessous duquel le benzène ne présente pas de risque pour la santé humaine.

1.3 Références normatives

Concernant les concentrations atmosphériques de benzène, la directive 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 vise à compléter les dispositions concernant les valeurs limites de la directive 96/62/CE avec des valeurs limites spécifiques pour le benzène. La valeur limite est établie à 5 µg/m³ à partir du 1^{er} janvier 2010. Les états membres doivent prendre les mesures nécessaires pour que les concentrations de benzène dans l'air ambiant ne dépassent pas cette valeur limite. Des dépassements sont autorisés jusqu'au 1^{er} janvier 2010 :

	valeur applicable en 2007	valeur applicable en 2008	valeur applicable en 2009	valeur applicable en 2010
Valeur limite pour la protection de la santé en moyenne annuelle (µg/m ³)	8	7	6	5

Dans le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et des effets sur la santé et l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites, la France fixe un **objectif de qualité de 2 µg/m³** en moyenne annuelle.

2 Mise en œuvre de la campagne

2.1 Techniques de mesure

Les échantillonneurs passifs sont bien adaptés pour la mesure du benzène dans l'air ambiant et sont largement utilisés dans les études ponctuelles visant à quantifier l'exposition moyenne sur un nombre important de sites d'échantillonnage. Pour sa facilité de mise en œuvre et son faible coût, qui en constituent les principaux atouts, cette technique de mesure a été retenue dans la présente étude. En parallèle, l'analyseur automatique de la station de proximité automobile de l'esplanade de la Gare, fonctionnant en continu durant toute l'année, et celui du moyen mobile lourd d'Atmo Auvergne, installé sur la Place Gaillard du 11 février au 17 mars 2008, fournissent des données issues d'une méthode différente.

Echantillonneur passif de benzène

Les échantillonneurs passifs de benzène, de marque Perkin-Elmer, se présentent sous la forme d'un tube en acier inoxydable qui contient une poudre adsorbante (Carbopack B). Ces échantillonneurs, après conditionnement en laboratoire, sont fermés hermétiquement par deux bouchons étanches. Lors de la phase d'exposition, l'échantillonneur est placé verticalement dans une boîte de protection en aluminium dans laquelle l'air peut circuler, et le bouchon étanche inférieur est remplacé par un bouchon diffuseur. En phase d'analyse, après désorption, les composés piégés sont séparés par chromatographie en phase gazeuse puis qualifiés et quantifiés par spectrométrie de masse. Les échantillonneurs sont conditionnés et analysés au laboratoire d'Atmo Picardie selon des procédures conformes aux normes ISO 16017-2 et NF EN 14662-4.

Analyseur automatique de benzène

L'air est aspiré au moyen d'une pompe et les composés sont préconcentrés avant d'être séparés sur une colonne, balayée par un gaz porteur inerte. Au contact du matériau adsorbant de remplissage de la colonne, qui présente une affinité différente selon les molécules rencontrées, les substances sont plus ou moins retardées dans la colonne, de telle façon qu'elles en sortent à des temps différents, ce qui permet de différencier les composés. Les produits séparés passent dans un détecteur (PID) qui produit un signal électrique qui est fonction de leur concentration dans le gaz porteur.

2.2 Période de mesure

Neuf séries de deux semaines de prélèvements par tubes passifs ont été réalisées entre novembre 2007 et mars 2008.

Novembre 2007		Décembre 2007		Janvier 2008		Février 2008		Mars 2008
Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	Série F	Série G	Série H	Série I
14/11 au 28/11	28/11 au 12/12	12/12 au 26/12	26/12 au 09/01	09/01 au 23/01	23/01 au 06/02	06/02 au 20/02	20/02 au 05/03	05/03 au 19/03

2.3 Sites de mesure

Vingt-trois sites de mesure, répartis sur Clermont-Ferrand, ont été choisis afin de quadriller l'agglomération en fonction des principaux axes de circulation. L'échantillonnage couvre essentiellement des sites de proximité automobile. La mesure est alors réalisée à moins de cinq mètres d'un axe à fort trafic, c'est-à-dire enregistrant un TMJA (trafic moyen journalier annuel) supérieur à 10 000 véhicules/jour. Deux sites urbains, hors de l'influence directe d'une voie à fort trafic, ont également été échantillonnés (Victoire et Mairie).

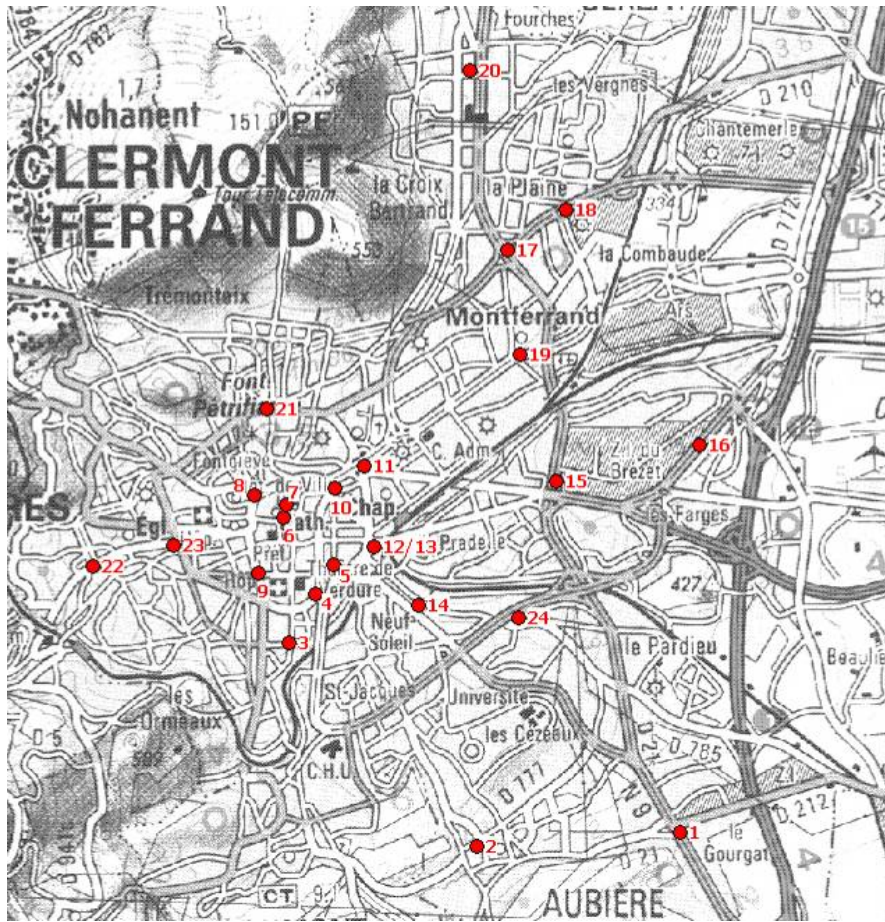
Le site clermontois de mesure du benzène en continu est situé sur l'esplanade de la Gare, ce qui correspond au point de prélèvement 12/13.

L'échantillonnage spatial et les caractéristiques des sites d'échantillonnage passif sont présentés sur la carte et le tableau suivants.

N° site	Nom	Adresse	Emplacement	Typologie du site
1	Roussillon	Avenue du Roussillon - Aubière	Sur panneau à côté du site fixe	Trafic
2	Rue Noëllet	Aubière	Sur rond-point rues Noëllet / Champvoisin	Trafic ¹
3	Côte Blatin	Bd Jean Jaurès - Clt-Fd	Rue à 2 voies face à la Clinique des Dômes	Trafic
4	Barrière d'Issoire	Carrefour Lafayette Paulines	Sur terre plein milieu de la chaussée 2 x 2 voies	Trafic
5	Cours Sablon	Cours Sablon - Clt-Fd	Angle cours Sablon - Avenue Carnot	Trafic
6	Victoire	Place de la Victoire - Clt-Fd	Sur poteau éclairage public proche OT	Urbain
7	Mairie	Rue Marcombes - Clt-Fd	Entrée mairie sur panneau	Urbain
8	Place Gaillard	Place Gaillard - Clt-Fd	Sur la place face à la rue du 11 novembre	Trafic
9	Lagarlaye	Rue Lagarlaye - Clt-Fd	Au centre du carrefour Lagarlaye - De Gaulle	Trafic
10	Place Delille	Place Delille - Clt-Fd	Sur la place	Trafic
11	Carmes	Place des Carmes - Clt-Fd	Au centre du terre-plein	Trafic
12/13	La Gare à côté du site fixe	Esplanade de la Gare - Clt-Fd	Sur voies bus - A côté site fixe	Trafic
14	Lafayette	Bd Lafayette - Clt-Fd	A l'angle avec la rue Raynaud	Trafic
15	Echangeur d'Herbet	Sur RN9 - Clt-Fd	Rue à 4 voies au nord de l'échangeur	Trafic
16	Louis Blériot	Le Brézet - Clt-Fd	Milieu de l'avenue face SANSAC	Trafic
17	Carrefour des pistes	Clt-Fd	Au centre du carrefour des pistes, sur poteau	Trafic
18	Quinet	Bd Quinet - Clt-Fd	A proximité du rond point avec le bd Kennedy	Trafic
19	Fontaine	Place de la Fontaine - Clt-Fd	A l'angle avec la rue Guesde	Trafic
20	Sirocco	Rue du Torpilleur Sirocco -Clt-Fd	Carrefour avec la rue du pont de Neyrat	Trafic
21	Lavoisier	Bd Lavoisier Clt-Fd	Rue à 2 voies à l'angle de la rue de Blanzat	Trafic
22	Carrefour de l'Europe	Avenue de Fontmaure - Chamalières	Près du Conseil Régional	Trafic
23	Carrefour des martyrs	Chamalières	Carrefour bd Berthelot - Avenue de Royat	Trafic
24	Bingen	Bd Bingen - Clt-Fd	Sur bretelle de sortie avenue de l'Oradou -	Trafic

Liste et emplacement des sites étudiés

- ¹ Le trafic sur ce site est inférieur à 10 000 véhicules par jour.



Carte des sites échantillonnés

3 Exploitation des résultats

3.1 Contexte météorologique durant la campagne

Les conditions météorologiques rencontrées lors de la campagne de mesure et les valeurs climatiques de référence, issues des observations réalisées par Météo-France sur la station de Clermont-Ferrand Aulnat (indicatif 63113001, latitude de 45°47'12"N, longitude de 03°09'00"E, altitude de 331 m), sont reportées dans le tableau suivant. La mention "nd" correspond aux valeurs non disponibles.

Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	normales climatiques de nov.	normales climatiques de déc.	normales climatiques de jan.
14 nov	28 nov	12 déc	26 déc	9 jan			
28 nov	12 déc	26 déc	9 jan	23 jan			

Température								
Température maximale (moy. en °C)	14.2	15.3	11.7	14.3	15.8	11.0	8.2	7.3
Température moyenne (moy. en °C)	4.9	7.5	-0.5	5.1	8.0	6.8	4.4	3.5
Température minimale (moy. en °C)	-6.7	-2.1	-10.2	-7.9	-3.0	2.6	0.7	-0.3

Nombre de jours avec :								
température maximale <= 0°C	0	0	2	0	0	1.0	2.3	2.6
température minimale <= 0°C	6	2	12	5	2	8.8	14.4	15.2
température minimale <= -5°C	1	0	5	1	0	1.8	3.7	5.9

Précipitations								
Hauteur cumulée (mm)	41.2	24.2	0	5.6	3.0	38.1	33.3	28.7

Nombre de jours avec :								
hauteur quotidienne >= 1 mm	4	7	0	3	1	6.8	6.4	6.3
hauteur quotidienne >= 5 mm	1	3	0	0	0	2.1	2.0	1.4
hauteur quotidienne >= 10 mm	1	0	0	0	0	0.9	0.8	0.4

Insolation								
Durée d'insolation cumulée (heures)	28.9	35.6	60.4	48.3	54.2	85.3	69.2	85.5

Vent								
Vitesse du vent (moyenne en m/s)	3.5	3.7	1.5	2.7	4.8	2.9	3.1	3.0

Nombre de jours avec :								
rafales >= 16 m/s	3	5	0	4	8	4.7	6.4	6.3
rafales >= 28 m/s	0	1	0	0	0	0.5	0.4	0

Nombre de jours avec :								
vitesse moyenne <= 1 m/s	2	1	6	2	0	nd	nd	nd
vitesse moyenne >= 5 m/s	2	4	0	2	7	nd	nd	nd

Série F	Série G	Série H	Série I	normales climatiques de fév.	normales climatiques de mars
23 jan 6 fév	6 fév 20 fév	20 fév 5 mars	5 mars 19 mars		

Température						
Température maximale (moyenne en °C)	14.3	14.6	18.3	22	9.3	12.5
Température moyenne (moyenne en °C)	3.6	4.2	9.8	6.9	4.9	7.3
Température minimale (moyenne en °C)	-6.8	-5.9	1.1	-5.5	0.5	2.2

Nombre de jours avec :						
température maximale <= 0°C	0	0	0	0	1.3	0.2
température minimale <= 0°C	8	13	0	4	12.5	9.4
température minimale <= -5°C	3	2	0	1	3.7	2.2

Précipitations						
Hauteur cumulée (mm)	8.4	0	5.2	7.2	25.2	26.9

Nombre de jours avec :						
hauteur quotidienne >= 1 mm	3	0	2	2	6.2	6.1
hauteur quotidienne >= 5 mm	0	0	0	0	1.7	1.5
hauteur quotidienne >= 10 mm	0	0	0	0	0.4	0.5

Insolation						
Durée d'insolation cumulée (heures)	80.6	122.2	60.9	59.5	113.7	162.5

Vent						
Vitesse du vent (moyenne en m/s)	3.0	2.0	2.8	4.4	3.1	3.3

Nombre de jours avec :						
rafales >= 16 m/s	3	1	2	6	4.9	5.5
rafales >= 28 m/s	0	0	0	0	0.2	0.2

Nombre de jours avec :						
vitesse moyenne <= 1 m/s	4	0	1	0	nd	nd
vitesse moyenne >= 5 m/s	4	0	3	5	nd	nd

Série A (14 au 28 novembre 2007) :

Placés sous un flux de nord, les premiers jours de cette série sont froids et secs. Ensuite, du 20 au 23 novembre, une perturbation active, précédée d'un fort coup de vent de sud, amène l'essentiel des pluies de cette série, qui est de loin la plus arrosée de la campagne. Près de 30 mm de précipitations sont relevés le 21 novembre, tandis que les températures remontent nettement pour se trouver au-dessus des normales. La fin de cette quinzaine connaît à nouveau une chute du thermomètre et la présence des nuages limite l'ensoleillement.

Série B (28 novembre au 12 décembre 2007) :

Novembre se termine sous un régime de sud-ouest, plus humide et plus doux. Les températures durant cette deuxième série sont particulièrement clémentes. Dans la nuit du 2 au 3 décembre, le département est traversé par une perturbation active, engendrant de la pluie et d'importantes rafales de vent, parfois à plus de 100 km/h. A partir du 7 décembre, le baromètre chute et les perturbations d'origine atlantique se succèdent, apportant des précipitations modérées mais quotidiennes jusqu'à la fin de cette période.

Série C (12 au 26 décembre 2007) :

Cette série de mesure est très contrastée avec la précédente. Des conditions anticycloniques s'installent durablement : l'ensoleillement est généreux et le temps est froid et sec. Dès le 14 décembre, les gelées nocturnes sont quotidiennes et parfois sévères, les journées des 15 et 16 décembre ne connaissant pas le dégel. L'absence de vent et l'atmosphère stable limitent la dispersion et de fortes valeurs en dioxyde d'azote et particules sont enregistrées, conduisant à l'activation de la procédure d'information et de recommandation sur l'agglomération du 19 au 22 décembre. En deux semaines, l'insolation cumulée est voisine des normales climatiques d'un mois de décembre entier.

Série D (26 décembre 2007 au 9 janvier 2008) :

Le beau temps jusqu'au 28 décembre est ensuite suivi de passages nuageux sans précipitations jusqu'à la fin du mois et les températures redeviennent conformes aux normales saisonnières. Les conditions anticycloniques des deux premiers jours de janvier, accompagnées d'une chute du thermomètre, font place dès le 3 janvier à une offensive nuageuse poussée par un important vent de sud s'orientant ensuite à l'ouest. Sous un ensoleillement parfois médiocre, les températures, de nuit comme de jour, sont nettement supérieures à la normale, les maximales étant par exemple presque tous les jours supérieures à 10 °C.

Série E (9 au 23 janvier 2008) :

La campagne de mesure se poursuit sous un flux de sud perturbé. Le vent est soutenu et le soleil est très présent jusqu'au 13 janvier. A partir du 14, les nuages émaillent le ciel et apportent de faibles arrosages. La douceur persiste et les gelées sont absentes jusqu'au 20 janvier. Le retour d'un temps anticyclonique s'annonce à la fin de cette quinzaine, les températures matinales deviennent plus fraîches et le soleil refait des apparitions plus franches.

Série F (23 janvier au 6 février 2008) :

Les températures de la fin du mois de janvier chutent et marquent le retour de bonnes gelées matinales, accompagnées d'un ensoleillement record. La persistance de cette situation anticyclonique engendre une dégradation de la qualité de l'air, qui s'améliore nettement le 31 janvier avec l'arrivée des nuages et d'un léger vent, d'abord orienté au nord. Les premiers jours de février connaissent un temps perturbé avec quelques ondées et des rafales de vent de secteur sud, tandis que les températures oscillent autour des valeurs de saison.

Série G (6 au 20 février 2008) :

Les précipitations sont totalement absentes durant cette série de mesure. Sous des pressions élevées, le temps calme s'installe durablement. L'ensoleillement est exceptionnel, l'insolation cumulée de cette quinzaine dépassant la normale du mois entier. L'absence de nuages entraîne des températures négatives tous les matins et les amplitudes thermiques peuvent approcher 20°C. Les concentrations de dioxyde d'azote et de poussières sont importantes durant cette série de prélèvement.

Série H (20 février au 5 mars 2008) :

Mis à part un épisode perturbé de faible activité le 20 février, le soleil est à nouveau généreux jusqu'au 25 du mois, tandis que le thermomètre remonte nettement au-dessus des valeurs de saison, les températures maximales étant voisines de 17°C et les gelées absentes. La fin de la période de mesure est marquée par le retour de quelques passages nuageux apportant de faibles pluies, et par des températures clémentes, qui fléchissent progressivement début mars avec l'arrivée d'un flux de nord.

Série I (5 au 19 mars 2008) :

Les températures sont orientées à la baisse, les matinées des 6 et 7 mars enregistrant des gelées. Les nuages dominant et les précipitations, bien que faibles, sont fréquentes tandis que les rafales de vent sont importantes, atteignant 80 km/h le 10 mars. Sous un couvert nuageux et quelques pluies éparses, le thermomètre repart ensuite à la hausse. Le retour d'un temps anticyclonique en toute fin de série rafraîchit nettement l'atmosphère.

3.2 Assurance qualité des mesures par échantillonnage passif

Blancs de terrain

Les blancs de terrain sont des tubes passifs qui suivent les mêmes manipulations que les échantillons (stockage, transport sur site puis envoi au laboratoire), sans par contre être exposés. Ils permettent de vérifier que les tubes ne sont pas contaminés pendant ces différentes étapes.

Un blanc a été réalisé lors de chaque série.

Les masses de benzène obtenues sur les blancs sont indiquées dans le tableau suivant :

	Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	Série F	Série G	Série H	Série I	Moyenne
Masse de benzène (ng)	3.2	0.89	2.46	0	nd	0.91	2.54	nd	0.75	1.53

L'ensemble des blancs montre une contamination faible, la masse moyenne étant de l'ordre de 6 % des masses obtenues sur les échantillons.

Conformément au guide de recommandation concernant la mesure du benzène dans l'air ambiant (LCSQA 2007), la masse moyenne relevée sur les blancs n'a pas été soustraite des valeurs des échantillons.

Doublons

Certaines mesures ont été réalisées en doublon afin de contrôler la répétabilité des mesures et de valider les données.

Le site de la Gare (références 12 et 13) a ainsi été équipé de 2 échantillonneurs passifs placés l'un à côté de l'autre. Des problèmes analytiques ont engendré l'absence de données durant la série E, ce qui correspond à la mention « nd » dans les tableaux.

L'écart relatif ER entre deux mesures conjointes C_A et C_B est défini comme la valeur absolue de l'écart entre l'une des mesures et la moyenne des deux, rapportée à cette moyenne :

$$ER = \frac{|C_A - (C_A + C_B)/2|}{(C_A + C_B)/2}$$

Les calculs des écarts relatifs ER sur le site de l'esplanade de la Gare sont présentés dans le tableau suivant. Les concentrations sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$:

	Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	Série F	Série G	Série H	Série I
Concentration éch. passif 12	2.6	1.9	5.5	2.6	nd	3	3.2	1.5	1.5
Concentration éch. passif 13	2.5	1.9	5.6	2.4	nd	3.1	3.2	1.9	1.2
moyenne	2.6	1.9	5.6	2.5		3.1	3.2	1.7	1.4
ER	2%	0%	1%	4%		2%	0%	12%	11%

Analyse des mesures de benzène sur le site 12/13 équipé d'un doublon

Les écarts relatifs obtenus, très faibles à faibles, demeurent généralement inférieurs à l'incertitude de mesure admise pour cette technique (10 à 20 %), confirmant ainsi une bonne répétabilité des mesures.

Comparaison des résultats de l'échantillonnage passif et des analyseurs automatiques

La station fixe de l'esplanade de la Gare est équipée d'un analyseur de benzène en continu ce qui permet de comparer ces résultats avec ceux fournis par les échantillonneurs passifs placés sur le même site, à quelques mètres. Par ailleurs, le moyen mobile lourd équipé d'un analyseur automatique a été installé place Gaillard du 11 février au 17 mars 2008, ce qui autorise la comparaison avec les séries H (20 février au 5 mars) et I (5 au 19 mars).

Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous, où les concentrations sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour le site de l'esplanade de la Gare équipé de tubes passifs en doublon, la moyenne des concentrations obtenues est indiquée. Le rapport entre la concentration obtenue par le tube et la concentration moyenne sur la même période fournie par l'analyseur est appelé T/A.

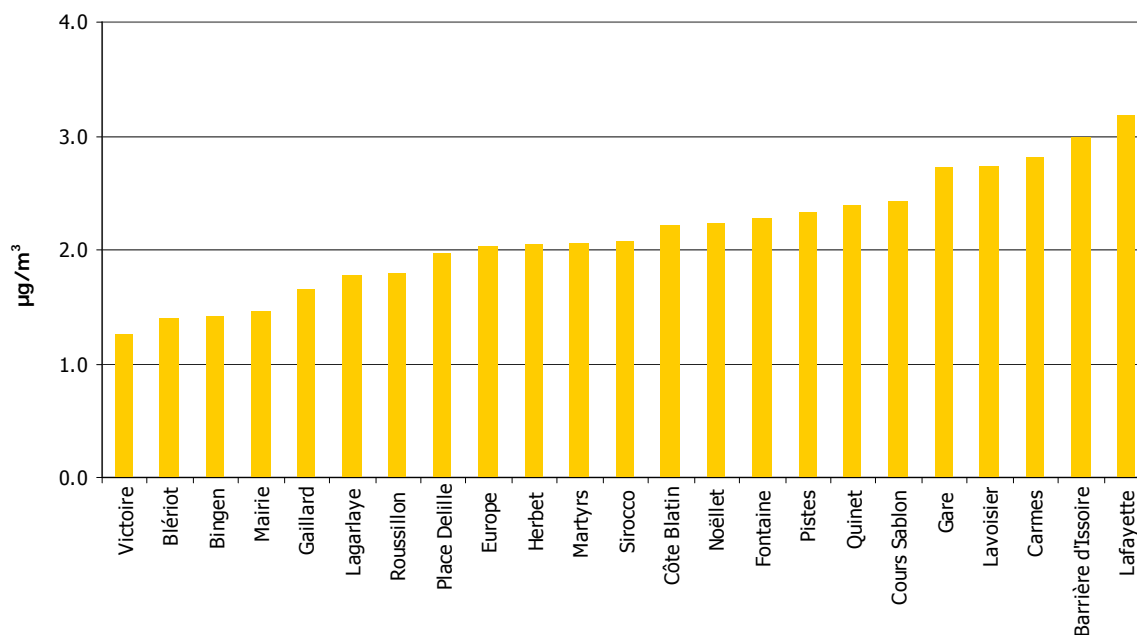
	Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	Série F	Série G	Série H	Série I
Tubes 12/13	2.6	1.9	5.6	2.5	nd	3.1	3.2	1.7	1.4
Analyseur auto	2.5	1.9	5.8	3.1	-	3.2	3.1	1.7	1
Rapport T/A	1.0	1.0	1.0	0.8	-	1.0	1.0	1.0	1.4
Tube 8								0.9	0.6
Analyseur auto								1.3	0.9 (5 au 17 mars)
Rapport T/A								0.7	0.7

Sur le site de l'esplanade de la Gare, le rapport T/A montre que l'accord entre l'échantillonnage passif et l'analyseur automatique est excellent, hormis sur les séries D et I. Néanmoins dans les deux cas, la différence de l'ordre de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les deux techniques est inférieure à l'incertitude absolue admise pour la méthode par échantillonnage passif. Il en est de même en ce qui concerne les résultats obtenus par le laboratoire mobile place Gaillard durant les deux dernières séries.

3.3 Résultats des mesures de benzène

Les résultats détaillés des concentrations en benzène, exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pour l'ensemble des sites et chaque série de mesure, sont fournis dans le tableau en annexe 1.

Les concentrations mesurées sur la durée de la campagne sont indiquées, sur le graphique suivant, par ordre croissant. La valeur moyenne est reportée pour le doublon de l'esplanade de la Gare.

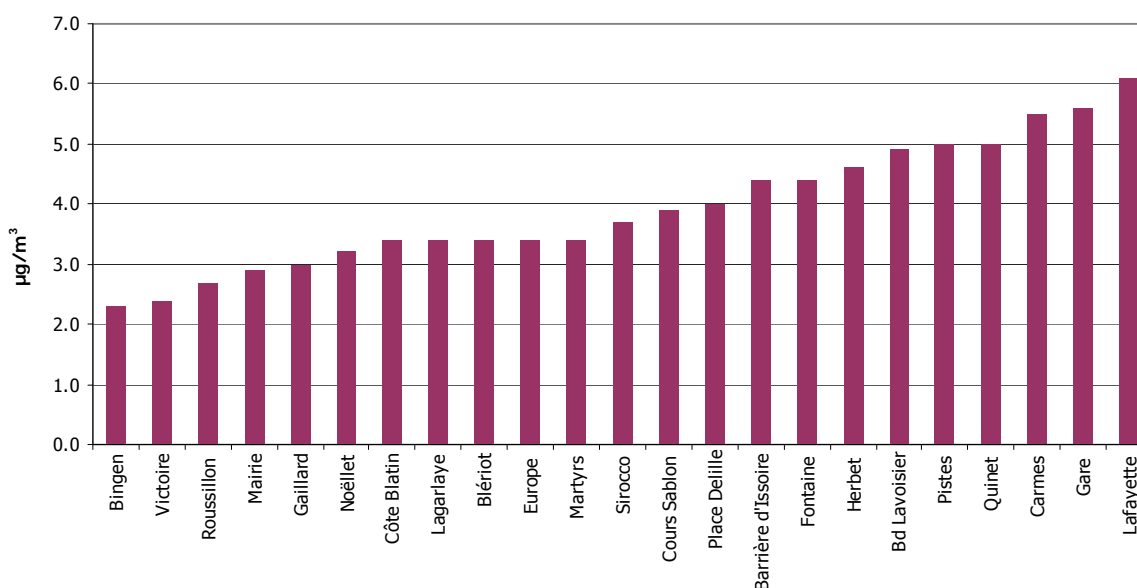


Concentrations moyennes de benzène mesurées pendant la campagne

Les concentrations moyennes en benzène varient de 1.3 µg/m³ (sur la place de la Victoire) à 3.2 µg/m³ (boulevard Lafayette), avec une valeur moyenne sur la campagne de 2.2 µg/m³. Les cinq sites les plus pollués en benzène que sont les boulevards Lafayette et Lavoisier, la barrière d'Issoire, la place des Carnes et l'esplanade de la Gare présentent des concentrations deux fois plus importantes que les sites les moins exposés. Parmi ces derniers, se trouvent deux axes fortement fréquentés mais également bien ventilés : l'avenue Blériot et le boulevard Bingen.

Les deux seuls emplacements de typologie urbaine que sont la Victoire et la Mairie se situent en bas de l'échelle des concentrations, avec moins de 1.5 µg/m³ de benzène en moyenne sur la campagne.

Les concentrations maximales mesurées pendant une série sur chaque site sont indiquées, sur le graphique suivant, par ordre croissant. La valeur maximale est reportée dans le cas du doublon de l'esplanade de la Gare.

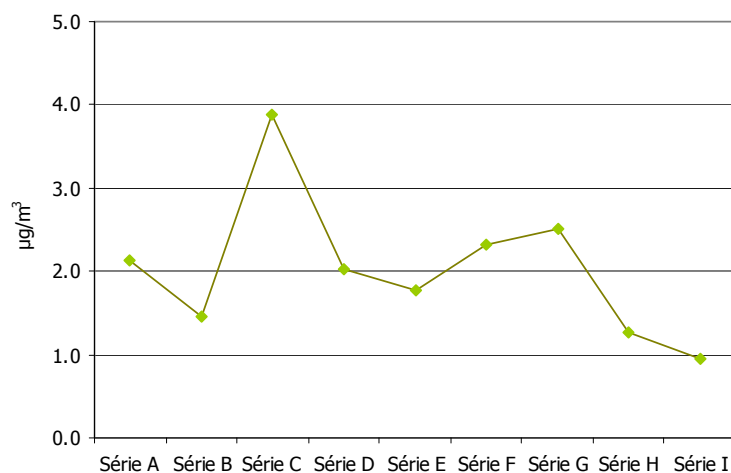


Concentrations maximales de benzène mesurées pendant la campagne

Les concentrations maximales sont de l'ordre d'une fois et demie à deux fois et demie plus importantes que la moyenne, avec un maximum de 6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le boulevard Lafayette, mesuré entre le 12 et le 26 décembre. Les niveaux les plus élevés sont également mesurés sur les sites de l'esplanade de la Gare et des Carmes, qui présentent les plus fortes concentrations moyennes, comme la barrière d'Issoire qui ne figure pourtant qu'au 8^{ème} rang des emplacements affichant les maxima les plus importants.

Evolution temporelle des mesures par tubes passifs pendant la campagne

L'évolution temporelle des mesures par tubes passifs est représentée sur le graphique suivant.



Evolution temporelle des concentrations de benzène mesurées par tubes passifs

C'est durant la série C, du 12 au 26 décembre, que les concentrations sont les plus élevées, en cohérence avec les conditions météorologiques. A la faveur d'une situation anticyclonique persistante, les niveaux de polluants primaires, dont le benzène, ont augmenté, conduisant à l'activation de la procédure d'information et de recommandation en dioxyde d'azote. A l'inverse les concentrations les plus faibles ont été mesurées durant les deux dernières séries, amorçant la décroissance habituelle des niveaux de polluants primaires sur l'agglomération au printemps.

Reconstitution de la moyenne annuelle

L'estimation de la concentration annuelle en chaque point de mesure à partir des 18 semaines de durée de la campagne est réalisée en comparant les données obtenues sur la station fixe de mesure de benzène située sur l'esplanade de la Gare avec la moyenne annuelle obtenue entre le 1^{er} juillet 2007 et le 30 juin 2008 (dates incluant donc la période de mesure) sur ce même point de prélèvement. En effet, les concentrations hivernales de polluants primaires sont maximales car elles reflètent à la fois l'augmentation des sources (chauffage domestique, moteurs froids, trafic automobile plus important) et la survenue possible de conditions anticycloniques hivernales peu favorables à la dispersion des polluants. Cette comparaison est indiquée dans le tableau suivant. Les concentrations de benzène sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$:

	Station fixe de l'esplanade de la Gare
Moyenne durant la campagne	2.7
Moyenne annuelle 07/2007-07/2008	1.8
Ratio Campagne/Moy.annuelle	1.5

Comparaison des concentrations mesurées pendant la campagne avec la moyenne annuelle de juillet 2007 à juillet 2008

Les concentrations mesurées durant la campagne sont effectivement plus élevées que la moyenne annuelle. Le rapport entre les concentrations mesurées pendant la campagne et la moyenne annuelle de juillet 2007 à juillet 2008 est de 1.5. Pour information, les mêmes calculs basés sur l'année précédente donnent des résultats similaires (1.35 de ratio moyen). Afin de reconstituer une moyenne annuelle, **les résultats des**

mesures par échantillonnage passif seront divisés par 1.5. Il est important de rappeler que ce type de calcul comporte de fortes incertitudes et n'a pas la valeur d'une mesure.

La liste des sites échantillonnés classés par moyenne croissante et l'estimation de la concentration annuelle sur ces mêmes emplacements sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Les résultats sont en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Moyenne campagne	Estimation de la moyenne annuelle : moyenne campagne / 1.5
Victoire	1.3	0.8
Blériot	1.4	0.9
Bingen	1.4	1.0
Mairie	1.5	1.0
Gaillard	1.7	1.1
Lagarlaye	1.8	1.2
Roussillon	1.8	1.2
Place Delille	2.0	1.3
Herbet	2.0	1.4
Europe	2.0	1.4
Martyrs	2.1	1.4
Sirocco	2.1	1.4
Côte Blatin	2.2	1.5
Noëllet	2.2	1.5
Fontaine	2.3	1.5
Pistes	2.3	1.6
Quinet	2.4	1.6
Cours Sablon	2.4	1.6
Gare	2.7	1.8
Bd Lavoisier	2.7	1.8
Carmes	2.8	1.9
Barrière d'Issoire	3.0	2.0
Lafayette	3.2	2.1

Situation par rapport aux normes

Le type d'échantillonnage ne permet qu'une comparaison avec les critères normatifs sur le long terme. La valeur limite pour la protection de la santé humaine à l'horizon 2010 est égale à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, avec un dépassement autorisé fixé à $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2008, et un objectif de qualité à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

D'après l'estimation de la moyenne annuelle, tous les sites échantillonnés respecteraient la valeur limite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y compris les emplacements les plus exposés que sont notamment le boulevard Lafayette et la barrière d'Issoire. L'objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ serait même respecté sur la quasi-totalité des points de mesure.

Les relevés conduits sur l'agglomération clermontoise par analyseur automatique depuis plusieurs années en site de typologie trafic montrent en effet que les concentrations de benzène atmosphérique sont orientées à la baisse, comme c'est le cas de façon plus générale en France.

Situation par rapport à la campagne de mesure de benzène de 2001

En 2001, Atmo Auvergne a mené une campagne de mesure du benzène par échantillonnage passif du 20 février au 17 avril, sur 20 sites dont deux sont communs à la présente étude : la place Gaillard et la barrière d'Issoire.

C'est le site de Gaillard qui apparaissait en 2001 comme le plus pollué, suivi de la barrière d'Issoire, tous deux présentant des concentrations qui pouvaient dépasser $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène en moyenne sur 14 jours.

Il est intéressant de constater d'abord une baisse des maxima sur ces deux sites, ensuite et surtout que les niveaux de benzène relevés place Gaillard sont en très nette diminution, du fait de la modification du plan de circulation de la ville. Ceci va dans le sens des observations de la campagne de mesure du dioxyde d'azote sur

l'agglomération réalisée en 2007, qui montrait que la pollution avait fortement baissé sur ce site. En 2001, plusieurs sites de fond avaient été échantillonnés et les concentrations de benzène mesurées étaient de l'ordre d'un microgramme par mètre cube. Sur les deux seuls emplacements urbains de la présente étude (Mairie et Victoire), les niveaux de benzène, autour de l'unité, sont comparables à ceux observés sur les sites de même typologie en 2001. Cette observation, limitée cependant à ces deux points de prélèvement, tendrait à montrer que les concentrations de benzène auraient chuté depuis 2001 sur les stations de type trafic suite notamment aux améliorations technologiques des véhicules et des carburants, mais que les niveaux de fond à l'échelle d'une ville resteraient similaires à ceux relevés plusieurs années auparavant. Des mesures conduites en 2008 par Atmo Auvergne au sommet du Puy de Dôme ou en site rural, par échantillonnage passif, ont montré que les concentrations de benzène étaient inférieures à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et que la présence d'une voie de circulation ou d'une zone de démarrage de véhicules avaient peu d'impact sur les concentrations. Ceci corrobore les observations de cette étude, qui indiquent que le benzène ne serait plus un marqueur privilégié des émissions par les transports.

Similitudes avec les niveaux de dioxyde d'azote

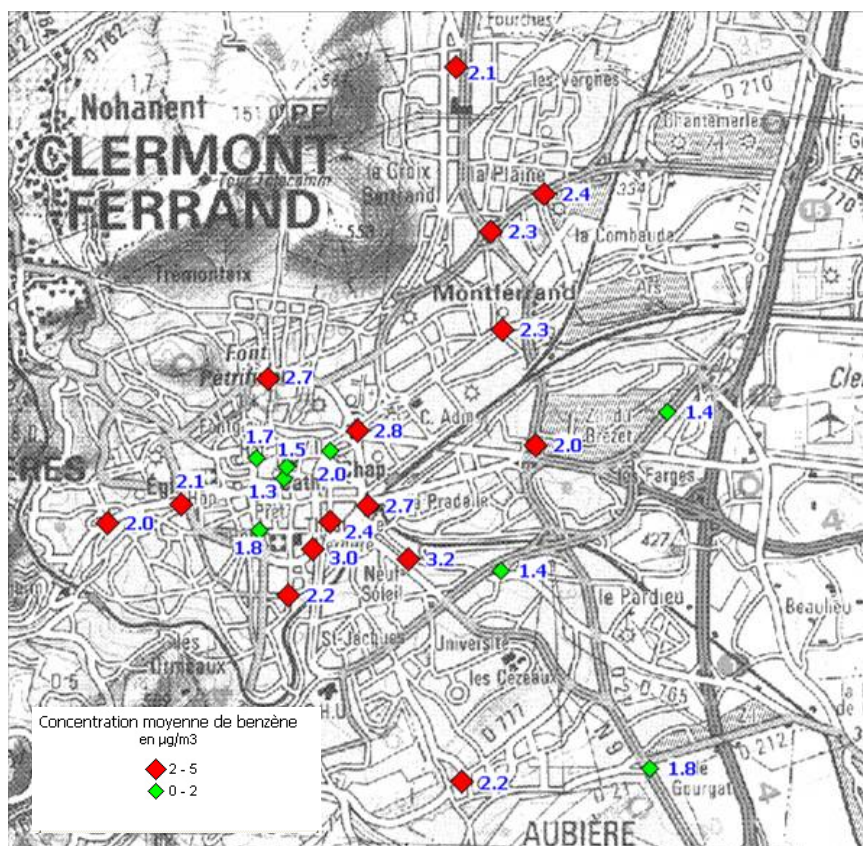
Le dioxyde d'azote est un polluant majoritairement issu des émissions routières. Atmo Auvergne a mené une importante campagne de mesure de ce composé de novembre 2006 à mars 2007, sur 45 sites qui incluent les 23 points de la présente étude. Les mesures de dioxyde d'azote avaient mis en exergue l'influence nette du trafic automobile sur la pollution azotée dans l'agglomération clermontoise, les niveaux les plus forts ayant été mesurés sur les nœuds de circulation, boulevards circulaires et axes d'accès au centre-ville. Les concentrations de dioxyde d'azote sont maximales dans les rues encaissées à fort flux automobile, pénalisées par rapport aux pénétrantes dont le trafic moyen journalier annuel peut être supérieur mais qui sont plus larges et mieux ventilées.

La comparaison des mesures de benzène à celles de dioxyde d'azote indiquent que les cinq sites les plus impactés sont les mêmes pour ces deux composés : barrière d'Issoire, boulevards Lafayette et Lavoisier, place des Carmes et esplanade de la Gare. Parmi les 23 sites communs aux deux études, les emplacements urbains de la Mairie et de la Victoire se retrouvent en bas de l'échelle pour les deux polluants. Par contre, quelques différences apparaissent : les sites de Roussillon, du carrefour des Martyrs et le boulevard Blériot qui étaient fortement soumis à la pollution azotée se trouvent dans la première moitié des lieux les moins chargés en benzène. En revanche, la place de la Fontaine et la rue Sirocco sont plus exposées à la pollution benzénique. Ceci peut en partie s'expliquer par le fait que les émissions de dioxyde d'azote sont favorisées par une vitesse élevée (au delà de 70 km/h), une forte densité de trafic et par la présence de poids lourds, tandis que celles de benzène sont favorisées par des situations de congestion et par une proportion élevée de véhicules dont les moteurs sont froids, ainsi que de deux-roues. Ainsi, il n'est pas étonnant que les axes importants tels que Roussillon et Blériot, où les véhicules roulent aisément à la vitesse de 70 km/h, soient davantage exposés au dioxyde d'azote.

Par ailleurs, cette campagne montre que les valeurs moyennes de benzène des cinq sites les plus pollués sont deux fois plus importantes que celles des cinq lieux les moins exposés, tandis que ce rapport est de 1 à 4 en ce qui concerne le dioxyde d'azote. La répartition du benzène sur l'agglomération est plus homogène et ses concentrations seraient moins soumises à l'influence directe du trafic, ce qui conforte les observations précédentes.

Répartition spatiale des résultats

Les répartitions spatiales des niveaux moyens de benzène sur l'ensemble de la campagne de mesure sont représentées sur la cartographie suivante. Les concentrations, exprimées en microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), sont indiquées en bleu.



La répartition spatiale des concentrations indique que les valeurs moyennes de benzène les plus faibles sont observées au cœur de l'agglomération et sur trois axes extérieurs (sites de Roussillon, Bingen et Blériot). Les cinq sites les plus chargés en benzène sont tous des sites présentant un trafic moyen journalier annuel allant de 11 500 à 24 000 véhicules/jour. Cependant, l'avenue du Roussillon et le boulevard Bingen subissent également des trafics importants (23 000 véh./jour), quand la barrière d'Issoire et le boulevard Lafayette, avec respectivement 13 000 et 11 500 véh./jour, affichent les concentrations moyennes les plus fortes. En effet, l'importance du trafic n'est pas la seule variable à influencer sur les concentrations, puisque la pollution s'accumule davantage dans une rue canyon que dans un espace ventilé.

Conclusion

Une campagne de mesure du benzène à l'aide d'échantillonneurs passifs a été réalisée dans l'agglomération clermontoise du 14 novembre 2007 au 19 mars 2008. Neuf séries de deux semaines de prélèvement ont été mises en place sur 23 sites, pour la majorité de typologie trafic.

La comparaison des niveaux mesurés par les tubes et par l'analyseur sur la station fixe de l'esplanade de la Gare a mis en lumière la bonne adéquation des deux techniques.

Les concentrations moyennes en benzène durant cette campagne varient de $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la Victoire à $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le boulevard Lafayette. Les sites les plus exposés sont, outre le boulevard Lafayette, la barrière d'Issoire, la place des Carmes, le boulevard Lavoisier, et la station de l'esplanade de la Gare. Ils ne doivent cependant pas être considérés comme les uniques points noirs de l'agglomération, car, de par leur forte fréquentation automobile et leur configuration encaissée, ils sont représentatifs de typologies existant sur d'autres lieux. Les deux seuls sites urbains échantillonnés qui sont la Victoire et la Mairie enregistrent, avec le boulevard Bingen et la rue Blériot qui sont tous deux très fréquentés mais bien ventilés, les niveaux les plus faibles.

La reconstitution de la moyenne annuelle est basée sur le rapport existant, sur la station fixe, entre le niveau mesuré pendant la campagne et la valeur annuelle obtenue entre juillet 2007 et juillet 2008. Bien que cette méthode comporte des limites, elle permet de confronter les résultats de cette étude de quelques mois aux critères normatifs sur le long terme. Ainsi, tous les sites échantillonnés respecteraient la valeur limite pour la protection de la santé humaine à l'horizon 2010, égale à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. La quasi-totalité serait également en deçà de l'objectif de qualité fixé à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La comparaison avec une campagne similaire menée en 2001 a permis de constater que les teneurs en benzène sur la place Gaillard ont nettement diminué du fait de sa piétonisation partielle. Par ailleurs, plusieurs observations tendent à montrer que le benzène n'est plus un marqueur privilégié des émissions par les transports dans l'agglomération : les maxima en situation de proximité sont inférieurs aux valeurs qu'on pouvait relever en 2001, et le ratio entre les sites les plus et les moins pollués est de 1 à 2 tandis qu'il est de 1 à 4 pour le dioxyde d'azote, polluant fortement lié aux émissions routières. D'autres campagnes menées par Atmo Auvergne en 2008 en Auvergne ont montré que les points situés en proximité de route nationale ou de zone de démarrage de véhicules n'étaient pas particulièrement impactés par le benzène.

Lors d'une prochaine campagne de mesure de ce polluant à l'échelle de l'agglomération, il serait intéressant de s'intéresser aux niveaux de benzène en zone résidentielle, la part relative des émissions de ce secteur étant de plus en plus forte du fait de l'amélioration technique des véhicules et du carburant. D'autres voies à fort trafic pourraient également être échantillonnées, telles par exemple les rues Bonnabaud, Blatin ou Ballainvilliers.

ANNEXE 1 : Résultats détaillés des mesures par échantillonnage passif

Les résultats détaillés des concentrations en benzène, exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pour l'ensemble des sites et chaque série de mesure, sont fournis dans le tableau ci-dessous.

La mention "nd" correspond aux valeurs non disponibles, en raison d'échantillons disparus, détériorés, ou de problème analytique.

N° site	Site	Série A	Série B	Série C	Série D	Série E	Série F	Série G	Série H	Série I	Moyenne
1	Roussillon	2.2	1.4	2.7	1.8	1.5	1.8	2.4	1.2	1.2	1.8
2	Rue Noëllet	2.8	2	3.2	2.1	1.8	2.4	3	1.5	1.3	2.2
3	Bd Côte Blatin-Jaurès	2.3	1.6	3.1	2.2	1.8	2.4	3.4	2.1	1.1	2.2
4	Barrière d'Issoire	3.3	2.3	4.4	3	2.4	3.4	4.3	2.4	1.4	3.0
5	Cours Sablon	2.7	1.7	3.9	2.1	nd	2.8	3.5	1.4	1.3	2.4
6	Victoire	1.3	0.8	2.4	1.1	nd	1.5	1.6	0.7	0.7	1.3
7	Mairie	1.5	0.9	2.9	1.3	nd	1.6	1.9	0.9	0.7	1.5
8	Place Gaillard	nd	2.1	3	1.5	nd	1.7	1.8	0.9	0.6	1.7
9	Lagarlaye	1.6	1.1	3.4	1.7	nd	2	2.6	1.2	0.6	1.8
10	Place Delille	1.9	1.4	4	1.8	nd	2.1	2.4	1.2	0.9	2.0
11	Place des Carmes	2.9	2.2	5.5	2.7	nd	3	3.4	1.7	1.2	2.8
12	La Gare sur site fixe	2.6	1.9	5.5	2.6	nd	3	3.2	1.5	1.5	2.7
13	La Gare sur site fixe	2.5	1.9	5.6	2.4	nd	3.1	3.2	1.9	1.2	2.7
14	Lafayette	3.7	2.1	6.1	3	nd	3.5	3.5	1.9	1.6	3.2
15	Echangeur d'Herbet	1.8	1.1	4.6	2.1	nd	2.4	2.3	1.2	0.8	2.0
16	Louis Blériot	1.3	0.7	3.4	1.2	nd	1.7	1.6	0.7	0.6	1.4
17	Carrefour des pistes	2.2	1.7	5	2.5	nd	2.6	2.4	1.2	1.1	2.3
18	Quinet	2.4	1.5	5	2.5	nd	2.8	2.7	1.1	1.1	2.4
19	Fontaine	2	1.3	4.4	2.1	nd	2.2	2.1	nd	1.9	2.3
20	Sirocco	1.9	2.2	3.7	2	nd	2	2.1	nd	0.7	2.1
21	Lavoisier	3.1	1.8	4.9	3	nd	3.1	3	1.8	1.2	2.7
22	Carrefour de l'Europe	1.8	nd	3.4	2.2	nd	2.4	2.2	1.4	0.9	2.0
23	Carrefour des martyrs	2.1	1.5	3.4	2.4	nd	2.8	2.3	1.2	0.8	2.1
24	Bingen	1.5	0.8	2.3	1.5	nd	1.9	1.9	0.9	0.6	1.4
MOYENNE		2.2	1.6	4.0	2.1	1.9	2.4	2.6	1.4	1.0	2.2



Qualité de l'air en Auvergne

**Association pour la Mesure
de la Pollution Atmosphérique
de l'Auvergne**

**Siège : Atmo Auvergne
21 allée Evariste Galois – 63170 AUBIERE
Tel : 04.73.34.76.34 / Fax : 04.73.34.33.56
e-mail : contact@atmoauvergne.asso.fr
<http://www.atmoauvergne.asso.fr>**

3^{ème} trimestre 2008

Rédaction : Justine Gourdeau – Approbation : Serge Pellier