



**ASSOCIATION POUR LA MESURE  
DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE  
DE L'Auvergne**

Fédération des associations de  
surveillance de la qualité d'air



Siège social : Atmo Auvergne, La Pardieu, 21 allée Evariste Galois, 63170 AUBIERE  
Tél : 04.73.34.76.34 Fax : 04.73.34.33.56 e-mail : [contact@atmoauvergne.asso.fr](mailto:contact@atmoauvergne.asso.fr)  
web : <http://www.atmoauvergne.asso.fr>

---

## **RAPPORT D'ETUDE**

### **LIGNE NORD-SUD DU TRAMWAY DE L'AGGLOMERATION CLERMONTOISE**

### **ÉTAT DE LA QUALITE DE L'AIR APRES 2 ANS D'EXPLOITATION**

# Table des matières

<b>INTRODUCTION - CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>1</b>
<b>METHODOLOGIE ET CONFIGURATION DE LA CAMPAGNE DE MESURE .....</b>	<b>1</b>
CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....	1
IMPLANTATIONS DES SITES DE MESURE.....	2
<i>Sites de mesure par échantillonneurs passifs .....</i>	<i>2</i>
<i>Stations fixes de l'agglomération clermontoise .....</i>	<i>4</i>
<b>EXPLOITATION DES RESULTATS DE MESURE.....</b>	<b>4</b>
CONTEXTE METEOROLOGIQUE.....	4
IMPACT GENERAL SUR LA QUALITE DE L'AIR .....	5
EXPLOITATION DES MESURES EN STATIONS FIXES .....	5
<i>Teneurs moyennes en dioxyde d'azote .....</i>	<i>6</i>
<i>Teneurs moyennes en benzène .....</i>	<i>6</i>
<i>Teneurs maximales .....</i>	<i>6</i>
EXPLOITATION DES MESURES PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS.....	6
<i>Validation des mesures.....</i>	<i>6</i>
<i>Résultats concernant le dioxyde d'azote .....</i>	<i>8</i>
<i>Résultats concernant le benzène.....</i>	<i>12</i>
<i>Rappel de la situation de l'agglomération par rapport aux critères réglementaires .....</i>	<i>14</i>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>15</b>
<b>ANNEXE 1 : LES MECANISMES DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.....</b>	<b>16</b>
<b>ANNEXE 2 : LES POLLUANTS MESURES ET LEURS EFFETS .....</b>	<b>17</b>
<b>ANNEXE 3 : LES CRITERES REGLEMENTAIRES DE LA QUALITE DE L'AIR .....</b>	<b>18</b>
<b>ANNEXE 4 : PRINCIPES ET MISE EN ŒUVRE DES ECHANTILLONNEURS PASSIFS .....</b>	<b>19</b>
<b>ANNEXE 5 : RESULTATS OBTENUS SUR LES STATIONS FIXES.....</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXE 6 : RESULTATS OBTENUS AVEC LES ECHANTILLONNEURS PASSIFS .....</b>	<b>23</b>

## **Introduction - contexte de l'étude**

L'étude faisant l'objet de ce rapport s'intéresse à la caractérisation de l'état de la qualité de l'air dans la zone concernée par la ligne Nord-Sud (ligne A) du tramway de l'agglomération clermontoise après un peu plus de 2 ans d'exploitation de ce transport en commun en site propre. Réalisée à la demande du Syndicat Mixte des Transports en Commun (SMTC) de l'agglomération clermontoise, cette évaluation s'inscrit dans le cadre de l'observatoire des effets du tramway. L'objectif est d'estimer l'influence sur la qualité de l'air de la mise en service de l'actuelle ligne nord-sud en référence à une étude similaire menée en 2003.

Dans ce but, une nouvelle campagne de mesure de polluants dont les émissions sont majoritairement liées au transport routier a été mise en œuvre du 16 octobre au 27 novembre 2008. Des échantillonneurs à diffusion passive de dioxyde d'azote et de benzène ont été disposés sur une quarantaine de sites, répartis le long du tracé actuel, ainsi que de l'extension projetée vers le nord-est de l'agglomération, et sur les principaux axes de circulation dont le trafic est susceptible d'avoir été affecté par les modifications engendrées par le nouveau plan de circulation. Les sites retenus sont les mêmes que ceux utilisés lors de la campagne de 2003, aux modifications de voiries près. Les mesures de concentrations hebdomadaires ainsi obtenues permettent d'analyser la répartition spatiale de la pollution atmosphérique moyenne sur la zone d'étude. Une comparaison avec les données relevées en 2003 permettra d'évaluer l'impact de cet équipement sur la qualité de l'air.

## **Méthodologie et configuration de la campagne de mesure**

### **Contexte topographique**

La ville de Clermont-Ferrand, située au Nord du Massif Central à une altitude moyenne d'environ 400 m, présente une configuration topographique en demi-cuvette, fermée à l'Ouest par la Chaîne des Monts Dômes qui culmine à 1465 m (Puy de Dôme), au Sud par le plateau de Gergovie et les pentes de Montrognon (700 m) et au Nord par les Côtes de Clermont et le Puy de Chanturgue (550 m). La partie Est s'ouvre sur la plaine de la Limagne, d'environ 300 m d'altitude moyenne, et constitue l'unique direction dégagée de tout relief. Cette configuration particulière joue généralement un rôle pénalisant en terme de qualité de l'air, les diverses barrières topographiques limitant le transport et la dispersion des polluants.

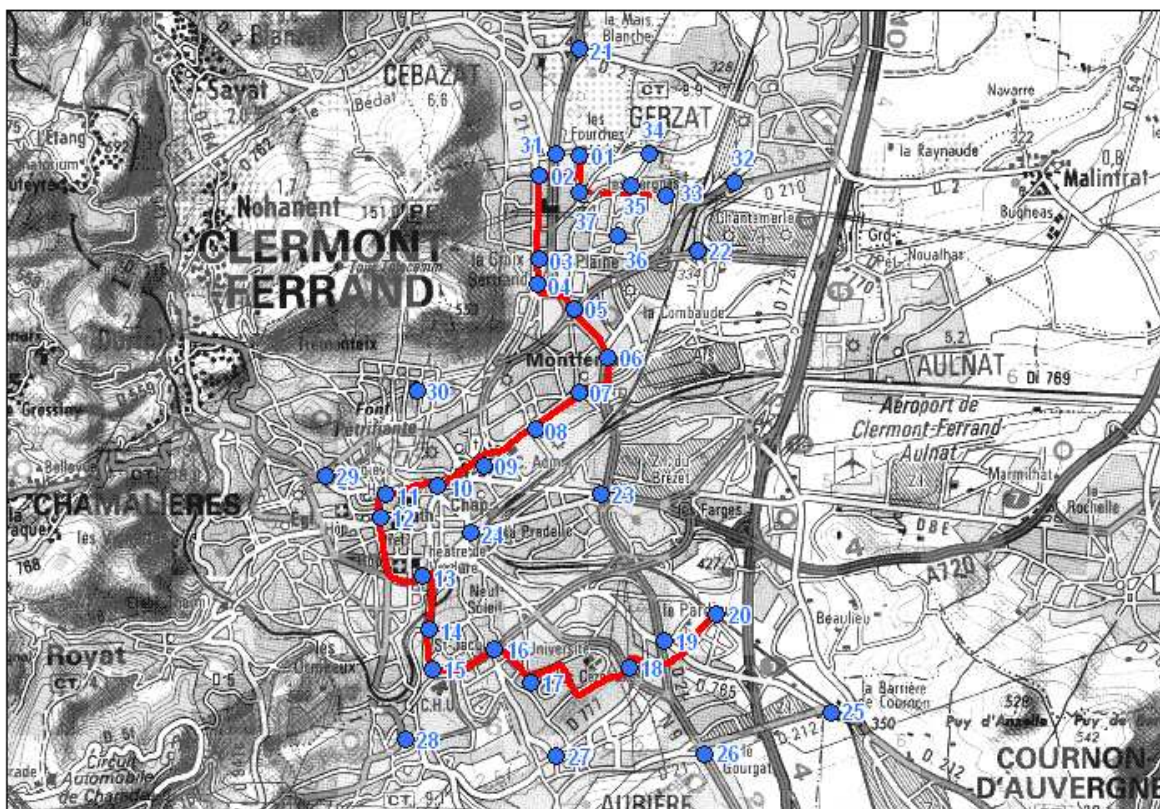
## Implantations des sites de mesure

### Sites de mesure par échantillonneurs passifs

Les temps d'exposition des échantillonneurs passifs correspondent à six périodes consécutives d'une semaine, entre le 16 octobre et le 27 novembre 2008, les poses et ramassages ayant lieu chaque jeudi entre 10h00 et 16h00. La distribution spatiale des 37 sites de mesure conjointes de dioxyde d'azote et de benzène a été définie pour répondre à trois objectifs :

- 20 sites de mesure sont implantés en suivant approximativement régulièrement le tracé de la ligne Nord-Sud du tramway, permettant de qualifier l'état de la qualité de l'air dans le proche environnement de la voie.
- 10 sites de mesure sont distribués sur les principales voies de circulation qui assurent la desserte du centre urbain clermontois, et dont la fréquentation est susceptible d'avoir été modifiée par la mise en service du tramway. Le but est de tenter de quantifier un éventuel impact sur la qualité de l'air engendré par des reports possibles de trafic depuis les modifications de plan de circulation.
- 7 sites se répartissent dans le secteur probablement impacté par le projet d'extension vers le nord-est de la ligne de tramway.

Cet échantillonnage spatial et les données d'implantation sont présentés sur la carte et le tableau suivants. Il est à noter que, autant que faire se peut, la numérotation et le nom des sites ont été conservés à l'identique de l'étude de 2003. Cependant, du fait de modifications de voiries ou d'environnement générées par l'implantation de la ligne de tramway, les éventuelles nuances dans le positionnement des tubes sont indiquées dans une colonne de commentaires.



Carte d'implantation des sites échantillonnés

N° Site	Nom	Adresse	Position Tube	Modification des emplacements par rapport à 2003
01	Flamina	Rue de Flamina, à l'angle de la Rue R. Lemoy (2 voies)	Sur un éclairage public, près de LIDL	Sur poteau indicateur "Riom"
02	Croix de Neyrat	Croisement Rue du Torpilleur Sirocco et Rue du Pont de Neyrat	Sur un éclairage public, face à But	Sur éclairage public
03	Clos	Rue du Torpilleur Sirocco, à l'angle de la Rue des Clos	Sur un éclairage public, magasin Présence Médicale	Sur éclairage public
04	Vignes	Rue du Torpilleur Sirocco (2 x 2 voies)	Sur un arbre, face à la Gendarmerie	Sur éclairage public face Gendarmerie
05 39	Pistes	Carrefour des Pistes - Boulevard L. Jouhaux	Sur un arbre à côté de l'ASM	
06	Montesquieu	Angle de la Rue Montesquieu et du Boulevard L. Jouhaux (2 x 2 voies)	Sur un éclairage public, face à Bricorama	
07	Fontaine	Place de la Fontaine à Montferrand	Sur un éclairage public, face à la Pharmacie et de MAAF Assurances	
08	Estaing	96 avenue de la République	Sur un arbre, face au stade Marcel Michelin, devant le petit Casino	98 av. République, à côté de l'arrêt stade M. Michelin
09	République	30 avenue de la République	Sur un éclairage public, à côté d'EDF	
10	Delille	Place Delille, à l'embranchement de la Place d'Espagne	Sur un éclairage public, face à la Caisse d'Epargne	A côté de l'arrêt tram Delille Montlosier
11	Gaillard	Sur le site de mesure fixe (2 x 1 voie + bus)	Sur un panneau indicateur Decaux, face à la Poste	Sur éclairage public, face à la brasserie "A la lune", le long de la ligne de tram
12	Jaude	Place de Jaude, côté Avenue des Etats-Unis, près du magasin Orcade Minelli (2 x 1 voie + bus)	Sur un éclairage public, sur la voie réservée aux bus, en bout de quai	Le long de la ligne de tram, face à la Poste
13	Ledru	Avenue François Mitterrand	Sur un éclairage public, face à la Faculté de droit, près de l'arrêt de bus du côté du Jardin Lecoq	A côté arrêt de tram Universités
14 38	Viaduc	Face au n° 2 du Boulevard Claude Bernard, Rue Desdevises du Désert	Sur un éclairage public	
15	Henri Dunant	Place Henri Dunant (Carrefour)	Sur un arbre face à l'entrée donnant sur la Rue des Liondards	Sur arbre, face entrée CHU, à côté arrêt de bus
16	Léon Blum	3 boulevard Pochet Lagaye (4 voies urbaines)	Sur un éclairage public, sur le terre-plein central, face à l'arrêt de bus	6 av P. Loucheur, sur arbre, face à l'arrêt de tram L. Blum
17	Stade des Cézeaux	5 rue des Meuniers (2 voies)	Sur un éclairage public, face au stade	
18	Fontaine du bac	21 avenue de la Margeride (4 voies)	Sur un éclairage public, sur le terre-plein central	Sur parking relais sens CF->sur, sur éclairage public
19	Flaubert-Schuman	Carrefour Boulevard Flaubert et Boulevard Schuman	Sur un poteau de caméra de la station ESSO	
20	La Pardieu	Devant la gare Clermont-La Pardieu	Sur un éclairage public sur le parking	
21	Cébazat	Sur la RN9, au niveau du pont allant vers Gerzat et Cébazat (2 x 2 voies)	Sur un arbre, sur le sentier descendant du pont vers la RN9, côté Clermont-Ferrand vers Riom	Nouveau rond point
22	Gerzat	Croisement A710, Boulevard G. Pompidou, en bas du pont dans le sens Gerzat - Clermont-Ferrand	Sur un panneau indicateur "Z.I. La Combaude Chantemerle Palport"	
23	E. Michelin	Croisement du Boulevard Saint Jean et de l'Avenue Edouard Michelin	Sur un éclairage public, au bout du pont, face à la Rue de Salers	
24	Carnot	Croisement de l'Avenue Carnot et du Boulevard Fleury	Sur un éclairage public, devant le Lycée Blaise Pascal, à proximité du square	Sur site fixe Gare
25	Coumon	140 avenue Ernest Cristal, D212	Sur un éclairage public, au rond-point d'entrée de Clermont-Ferrand et d'Aubière	
26	Roussillon	Au bout de la Rue Malmouche	Sur le panneau de stationnement interdit sur 200 mètres, face au Quick	
27	Aubière	Carrefour de l'Avenue Jean Noellet et de l'Avenue du Mont Mouchet	Sur un éclairage public, sur le rond-point central	
28	Mairie de Beaumont	Carrefour Avenue du Général Leclerc et Rue de l'Hôtel de Ville	Sur un éclairage public Rue de l'Hôtel de Ville, face au Crédit Agricole	
29	CCI	139 boulevard Lavoisier (2 voies en sens unique)	Sur un éclairage public, face à la Chambre de Commerce	
30	Maurice Pourchon	43 bis boulevard Maurice Pourchon, Bât. C (2 x 2 voies)	Sur un arbre	
<b>NOUVEAUX SITES</b>				
31	Les Fourches	Carrefour des Fourches	Sur "Cédez le passage", direction CF-> Riom	
32	Chantermerle	Rond point Chantemerle Gerzat	Sur panneau indicateur "Gerzat centre"	
33 40	Droits de l'homme	Place des Droits de l'homme, Les Vergnes	Sur arbre, le long du parking à côté du château des Vergnes	
34	Mabrut	Rond point derrière le stade Montpied	Sur panneau "Cédez le passage"	
35	Montpied	Rond point devant le stade Montpied	Sur éclairage public	
36	Viviani	Croisement rue Viviani rue Rouvier	Sur poteau d'éclairage avec panneau "Rue Rouvier"	
37	Dantziger	Croisement rue Flamina-rue Mabrut	Sur poteau indicateur "croix de Neyrat - Centre commercial"	

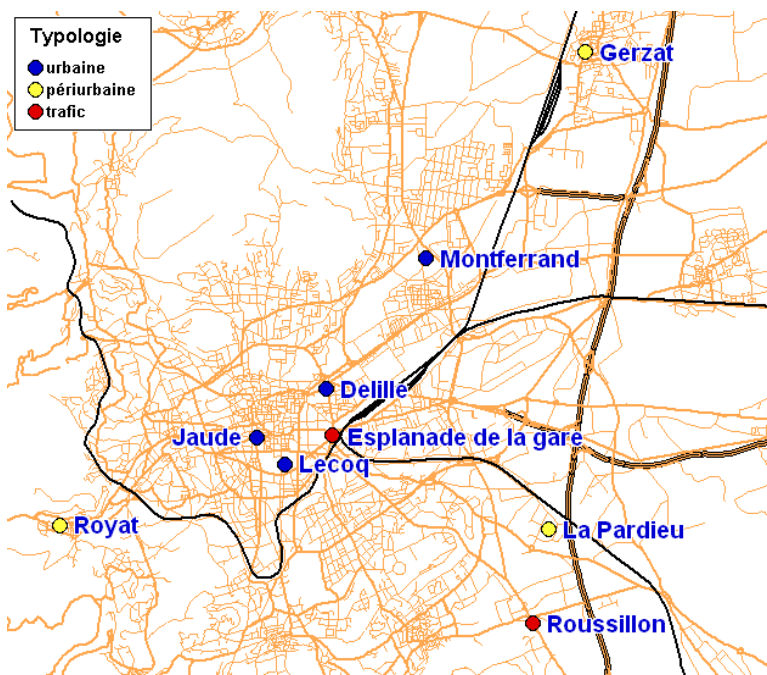
### *Caractéristiques d'implantation des sites échantillonnés*

Afin de respecter la procédure d'assurance qualité, pour chacun des deux polluants mesurés et pour chaque semaine de mesure, un échantillonneur passif est transporté lors de la pose et du ramassage mais n'est pas exposé ("blanc terrain"). Il est ultérieurement utilisé comme référence lors de la phase d'analyse. Par ailleurs, sur les sites des Pistes (05), du Viaduc (14) et des Droits de l'homme (33), des échantillonneurs passifs de dioxyde d'azote et de benzène sont installés en doublons afin de contrôler la répétabilité des mesures. Les sites de Roussillon (26), Carnot (24) et Jaude (12), situés à proximité des stations fixes Roussillon, Gare et Jaude, permettent en outre la comparaison des mesures des échantillonneurs passifs avec la référence constituée par les analyseurs automatiques.

## Stations fixes de l'agglomération clermontoise

L'agglomération clermontoise dispose de neuf stations fixes de mesure équipées d'analyseurs automatiques réalisant de façon continue l'observation des teneurs en polluants classiques, intégrées au pas de temps quart-horaire :

- deux stations de proximité automobile (Gare et Roussillon) relevant les teneurs maximales en polluants primaires,
- quatre stations urbaines (Montferrand, Delille, Lecoq et Jaude) mesurant le niveau moyen de pollution auquel la population de Clermont-Ferrand est exposée,
- trois stations périurbaines (Pardieu, Gerzat et Royat), présentant généralement des teneurs en ozone plus importantes qu'en centre-ville.



Carte d'implantation des sites fixes de l'agglomération clermontoise

## Exploitation des résultats de mesure

### Contexte météorologique

Le résumé chronologique des conditions météorologiques observées lors de la campagne de mesure a été établi à partir des relevés de la station météorologique d'Aulnat, située sur le site de l'aéroport, à l'Est de l'agglomération. Ces relevés sont réalisés et fournis par Météo France.

Si le 16 octobre connaît un temps perturbé avec un ciel très nuageux, des passages pluvieux faibles à modérés en cours de journée, des températures douces, voisines de 20°C au meilleur de la journée et un vent de sud-ouest à ouest faible à modéré, il n'en va pas de même du 17 au 20. Les conditions anticycloniques dominent alors avec un temps sec et un très bon ensoleillement malgré de rares bancs de brouillards éphémères le 19 et une arrivée nuageuse le 20. Les températures minimales sont en baisse sensible (proches de 0°C le 18) puis retrouvent un niveau de saison ; les maximales varient de 15 à 20 °C. Le flux de nord-est à est, faible les 17 et 18, tourne ensuite au sud en se renforçant.

Du 21 au 22 retour d'un régime perturbé de sud-ouest. Le passage d'une perturbation active donne une lame d'eau de l'ordre de 40 mm. Les températures sont relativement douces le 21, entre 10 et 19°C, puis accusent une baisse sensible le 22 avec un thermomètre entre 7 et 8°C seulement.

Une accalmie arrive du 23 au 26 avec un retour à un temps sec bien ensoleillé sauf la journée du 24 où les nuages restent dominants. Ce type de temps donne des températures de 3 à 4°C le matin, de 12 à 19 °C l'après-midi.

Du 27 au 31, un temps perturbé réapparaît avec un ciel couvert ou très nuageux. Le refroidissement est sensible avec apparition de la neige à basse altitude. Le thermomètre se situe de 5 à 10° au-dessous des valeurs de saison. Le vent est temporairement fort de sud (rafales 72 km/h le 30). Du 1<sup>er</sup> au 2 novembre, le ciel est fortement perturbé, couvert et pluvieux. Un conflit entre un flux de sud-ouest et une remontée d'air doux saturé en humidité génère de fortes pluies sur la région (lame de 30 mm sur Clermont-Ferrand). Les températures deviennent relativement douces avec vent de sud modéré. Du 3 au 11 la douceur persiste. Les perturbations sont fréquentes mais peu actives. Le soleil est rare mais de belles éclaircies se produisent le 3 et plus nettement le 8. La douceur culmine le 10, journée la plus douce du mois (maximale de 17.3°C). Le vent de sud forçit en fin de période avec des rafales de 60 à 70 km/h les 10 et 11.

Des conditions anticycloniques d'hiver s'établissent du 12 au 15 avec hausse de la pression et nette baisse du thermomètre (gelées sous abri le 15). Le vent tourne au nord avec de l'air encore humide et de petites averses temporaires se produisent.

Du 16 au 20, un temps faiblement perturbé se met en place. Les nuages sont fréquents et donnent souvent de la pluie. La hausse des températures est notable (4 à 8°C la nuit et 9 à 12°C le jour).

Du 21 au 25 arrivent des conditions hivernales avec neige à basse altitude, prédominance de temps couvert, gris et neigeux, vent sensible avec rafales de 40 à 60 km/h et températures voisines de 0°C le matin, restant 5 à 6 degrés en dessous des normales en cours de journée.

Du 26 au 28, une pause anticyclonique permet le retour à un temps calme avec de belles éclaircies le 27. Les températures sont froides le matin (gelées à -5.0°C).

## **Impact général sur la qualité de l'air**

Durant cette campagne de mesure, l'alternance de situations anticycloniques et dépressionnaires, classique pour une période d'automne, ont permis de relativement bien évacuer la pollution atmosphérique produite dans l'agglomération. Cependant, certaines périodes ont connu quelques situations de stabilité de l'atmosphère accompagnées de températures froides impliquant une baisse de la qualité de l'air. C'est notamment le cas du 17 au 20 octobre puis du 12 au 15 novembre. L'indice Atmo de l'agglomération clermontoise a d'ailleurs été de 5, qualité de l'air moyenne, le 20 octobre. Au cours de l'ensemble de la campagne, aucune pointe caractérisée de pollution atmosphérique n'a cependant été enregistrée. Il est donc possible d'admettre que les valeurs relevées sont des niveaux moyens, relativement caractéristiques de la qualité de l'air de l'agglomération dans des conditions assez proches de celles qui avaient présidé à la campagne de 2003 qui s'était déroulée au printemps, saison « intermédiaire » au même titre que l'automne.

## **Exploitation des mesures en stations fixes**

L'analyse des enregistrements obtenus sur les stations fixes de l'agglomération clermontoise permet de situer les caractéristiques de la qualité de l'air durant la campagne de mesure par rapport aux niveaux habituellement observés. L'objectif est de quantifier l'influence des paramètres météorologiques spécifiquement rencontrés durant la période de mesure afin de replacer les résultats de cette étude ponctuelle dans le contexte plus général de la pollution atmosphérique moyenne de l'agglomération. Une comparaison avec les valeurs enregistrées lors de la campagne similaire de 2003 permet également de tirer des enseignements quant à une éventuelle évolution de fond des niveaux des 2 polluants considérés.

Les mesures de dioxyde d'azote et de benzène réalisées sur les stations fixes de l'agglomération clermontoise pendant la durée de la campagne sont présentées en annexe 5. Différents paramètres statistiques ont été calculés sur les six périodes d'une semaine qui correspondent aux expositions successives des échantillonneurs passifs. Ces paramètres sont :

- la moyenne (moy) des concentrations horaires,
- le centile 98 (c98) des concentrations horaires, défini comme la valeur de l'échantillon telle que 98 % des données lui sont inférieures (soit 2 % des données lui sont supérieures). Ce centile, représentatif des enregistrements élevés de l'échantillon statistique, permet de ne pas prendre en compte les événements exceptionnels, représentés par les valeurs maximales,
- les maxima des concentrations moyennes horaires (max H) et journalières (max J).

Pour le dioxyde d'azote, les résultats sont regroupés en fonction des typologies d'implantation des sites (urbains, périurbains et de proximité automobile). Pour cela, on détermine la moyenne spatiale des paramètres statistiques des différents sites de même typologie. Concernant le benzène, seul le site de proximité automobile de la Gare est équipé d'un analyseur.



## **Teneurs moyennes en dioxyde d'azote**

A l'exception de la 6<sup>ème</sup> semaine, au cours de laquelle les conditions météorologiques majoritairement neigeuses ont permis d'observer des niveaux largement moindre, l'écart avec la moyenne globale obtenue sur l'ensemble de la campagne de mesure, atteint au plus 15 % quel que soit le type de sites. Cette faible variabilité au cours des 5 premières semaines de relevés est notamment due à l'alternance rapide de divers types de temps perturbés ou plus stables. Ceci n'exclut pas des variations conséquentes lors d'une même semaine, variations que la technique des échantillonneurs passifs ne permet pas de saisir.

Sur l'ensemble de la campagne, les moyennes globales calculées sur les différentes stations fixes de l'agglomération sont très proches des valeurs qui avaient été relevées lors de la campagne de 2003. En effet, les moyennes globales de 33, 23 et 48 µg/m<sup>3</sup> obtenues respectivement sur les sites urbains, périurbains et de proximité automobile sont comparables aux valeurs de 33, 23 et 43 µg/m<sup>3</sup> de 2003. Le déplacement du principal site lié au trafic automobile du fait de la mise en service du tramway, peut expliquer la différence enregistrée pour le chiffre moyen lié à cette typologie de stations.

Les autres paramètres statistiques sont également comparables entre 2003 et 2008. Les maxima sont ainsi de 89, sur le pas de temps journalier, et 156 µg/m<sup>3</sup>, au pas de temps horaire, en 2008 pour des valeurs de 76 et 153 µg/m<sup>3</sup> en 2003. Les plus grandes différences apparaissent au niveau des centiles 98, respectivement de 81, 71 et 116 µg/m<sup>3</sup> pendant la campagne 2008 alors qu'ils étaient de 103, 85 et 100 µg/m<sup>3</sup> en 2003. Ceci traduit des niveaux plus fréquemment élevés en sites urbains et périurbains en 2003 alors que c'est l'inverse en 2008. Là encore, le déplacement des sites trafics entre les 2 campagnes a probablement une influence sur les résultats.

## **Teneurs moyennes en benzène**

A l'image de ce qui a été observé pour le dioxyde d'azote, les moyennes hebdomadaires en benzène présentent des variations peu marquées au cours de la campagne de mesure, hormis la 6<sup>ème</sup> semaine, pour laquelle il est également enregistré des niveaux moindres.

Sur l'ensemble de la campagne, les paramètres statistiques sont bien inférieurs à ceux relevés au cours de la campagne 2003. Au-delà de la modification du point de prélèvement, qui reste cependant de typologie trafic, ces observations s'inscrivent dans la tendance à la baisse des niveaux de benzène constatée depuis 2001. Ainsi les chiffres font apparaître, entre les 2 campagnes, une baisse de plus de 50 % de la moyenne, de 35 % du centile 98, de 40 % du maxima journalier et de 25 % du maxima horaire.

## **Teneurs maximales**

Les niveaux maxima en dioxyde d'azote, représentés par les centiles 98 et les maxima des valeurs horaires, sont principalement observés le 20 octobre, journée correspondant à la fin d'une période anticyclonique de 4 jours ayant permis une certaine accumulation de la pollution dans la demi-cuvette clermontoise. Une autre période de valeurs élevées se situe les 3 et 4 novembre. Les teneurs les plus élevées mesurées durant la campagne n'ont cependant pas occasionné de dépassement du seuil de recommandation et d'information relatif au dioxyde d'azote (200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire). La valeur horaire maximale enregistrée atteint 156 µg/m<sup>3</sup> le 20 octobre entre 7h00 et 8h00 TU (Temps Universel) sur le site de la Gare.

Les niveaux de pointe en benzène sont également observés le 20 octobre, au même moment que pour le dioxyde d'azote lors de la pointe de trafic du matin.

## **Exploitation des mesures par échantillonneurs passifs**

Le principe de mesure par échantillonneurs à diffusion passive est exposé en annexe 4.

### **Validation des mesures**

Sur les sites de Pistes (05), Viaduc (14) et Droits de l'homme (33), les échantillonneurs passifs installés en doublons permettent de contrôler la répétabilité des mesures. On définit pour cela l'écart relatif ER entre deux mesures conjointes C<sub>A</sub> et C<sub>B</sub> comme la valeur absolue de l'écart entre l'une des mesures et la moyenne des deux, rapportée à cette moyenne :

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



L'évaluation des écarts relatifs ER est présentée dans le tableau suivant, où les concentrations en dioxyde d'azote sont exprimées en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et la mention "nd" signifie "valeur non disponible" (échantillonneur retrouvé endommagé, dérobé, présence d'insectes...) :

site	Numéro échantillonneurs passifs	S1 16/10-23/10	S2 23/10-30/10	S3 30/10-06/11	S4 06/11-13/11	S5 13/11-20/11	S6 20/11-27/11
05 - Pistes	05	45,2	49,5	65,7	59,2	62,7	49,1
	39	49,8	57,7	71,4	53,1	65,3	42,7
	moyenne	47,5	53,6	68,6	56,1	64,0	45,9
	ER	5%	8%	4%	5%	2%	7%
14 - Viaduc	14	38,2	51,3	46,0	28,4	62,1	41,9
	38	42,5	51,3	42,1	29,5	60,4	37,0
	moyenne	40,4	51,3	44,0	29,0	61,2	39,5
	ER	5%	0%	4%	2%	1%	6%
33 - Droits de l'homme	33	25,0	38,0	40,7	35,8	36,4	22,2
	40	21,3	30,0	43,8	31,3	35,3	22,8
	moyenne	23,1	34,0	42,3	33,5	35,8	22,5
	ER	8%	12%	4%	7%	2%	1%

*Analyse des mesures de dioxyde d'azote sur les sites équipés de doublons*

site	Numéro échantillonneurs passifs	S1 16/10-23/10	S2 23/10-30/10	S3 30/10-06/11	S4 06/11-13/11	S5 13/11-20/11	S6 20/11-27/11
05 - Pistes	05	2,0	2,0	2,4	nd	1,9	1,5
	39	2,0	2,1	2,5	nd	2,0	1,5
	moyenne	2,0	2,0	2,4	nd	2,0	1,5
	ER	1%	3%	2%	nd	2%	1%
14 - Viaduc	14	2,0	2,0	2,4	1,7	1,9	1,3
	38	1,8	2,1	2,3	1,7	1,9	1,5
	moyenne	1,9	2,1	2,4	1,7	1,9	1,4
	ER	3%	1%	2%	0%	0%	7%
33 - Droits de l'homme	33	nd	1,5	1,7	1,6	1,3	0,9
	40	nd	1,4	1,6	1,5	1,3	0,9
	moyenne	nd	1,4	1,6	1,5	1,3	0,9
	ER	nd	2%	2%	2%	0%	0%

*Analyse des mesures de benzène sur les sites équipés de doublons*

Pour le dioxyde d'azote, les écarts relatifs obtenus sont conformes à ceux généralement admis dans ce type d'étude puisque systématiquement inférieurs à 20 % (maximum de 12 % la 2<sup>ème</sup> semaine sur le site 33). Il en va de même pour le benzène (maximum 7 % la 6<sup>ème</sup> semaine sur le site 14).

Sur les sites de la Gare-Carnot (24), de Roussillon (26) et de Jaude (12), la comparaison entre les résultats des échantillonneurs passifs et des analyseurs automatiques est également effectuée à partir des écarts relatifs, présentés dans les tableaux suivants :

site	Type de prélèvement	S1 16/10-23/10	S2 23/10-30/10	S3 30/10-06/11	S4 06/11-13/11	S5 13/11-20/11	S6 20/11-27/11
24 - Gare - Carnot	échantillonneur	63,6	81,1	92,4	70,6	110,0	50,4
	analyseur	55,0	62,0	65,0	60,0	52,0	37,0
	moyenne	59,3	71,6	78,7	65,3	81,0	43,7
	ER	7%	13%	17%	8%	36%	15%
26 - Roussillon	échantillonneur	78,7	104,4	86,5	57,1	99,3	68,2
	analyseur	35,0	49,0	44,0	35,0	48,0	31,0
	moyenne	56,8	76,7	65,2	46,0	73,7	49,6
	ER	38%	36%	33%	24%	35%	37%
12 - Jaude	échantillonneur	43,9	41,0	47,0	35,0	51,4	36,1
	analyseur	32,0	39,0	38,0	33,0	34,0	20,0
	moyenne	38,0	40,0	42,5	34,0	42,7	28,1
	ER	16%	3%	11%	3%	20%	29%

*Comparaisons échantillonneur passif / analyseur automatique pour les mesures de dioxyde d'azote*

site	Type de prélèvement	S1 16/10-23/10	S2 23/10-30/10	S3 30/10-06/11	S4 06/11-13/11	S5 13/11-20/11	S6 20/11-27/11
24 - Gare - Carnot	échantillonneur	2,9	3,4	3,9	3,2	3,1	2,0
	analyseur	1,7	2,0	2,3	2,2	1,7	0,9
	moyenne	2,3	2,7	3,1	2,7	2,4	1,5
	ER	26%	25%	25%	19%	29%	39%

*Comparaisons échantillonneur passif / analyseur automatique pour les mesures de benzène*

Les écarts relatifs calculés pour les mesures de dioxyde d'azote sont généralement importants, de l'ordre de 15 % en moyenne sur les sites de Jaude et de la Gare et de 35 % pour Roussillon. Il est à noter que les échantillonneurs n'étaient pas placés exactement au niveau des prélèvements automatiques, outre le fait que la mesure en continu soit réalisée place de Jaude à l'aide d'un système optique permettant de caractériser la qualité de l'air sur une distance de 210 m. Ainsi, une étude réalisée en plusieurs carrefours de l'agglomération à l'automne 2007, dont Roussillon, a montré que les concentrations obtenues à proximité immédiate des voies de circulation étaient de l'ordre de deux fois plus élevées que celles obtenues sur les sites fixes.

Concernant le benzène, la mesure par échantillonneurs passifs semble également conduire à une surestimation durant la campagne, avec un écart relatif atteignant 39 % la dernière semaine. Les écarts constatés peuvent être imputés à l'influence néfaste de la trop faible durée d'exposition des échantillonneurs, qu'il est recommandé de choisir supérieure ou égale à deux semaines. Cependant, les relativement faibles niveaux enregistrés peuvent conduire également à des écarts relatifs plus importants, l'écart absolu maximum étant de 1,6 µg/m<sup>3</sup>.

### **Résultats concernant le dioxyde d'azote**

Les résultats détaillés des concentrations moyennes hebdomadaires en dioxyde d'azote, pour l'ensemble des sites et chacune des semaines de campagne, sont fournis en annexe 6.

Les moyennes spatiales des concentrations hebdomadaires, figurant dans la dernière ligne du tableau de l'annexe 6, représentent l'évolution temporelle des niveaux moyens de la zone d'étude. Cette évolution peut être comparée avec celle précédemment décrite des teneurs mesurées sur les stations fixes de l'agglomération. Le tableau suivant présente cette comparaison :

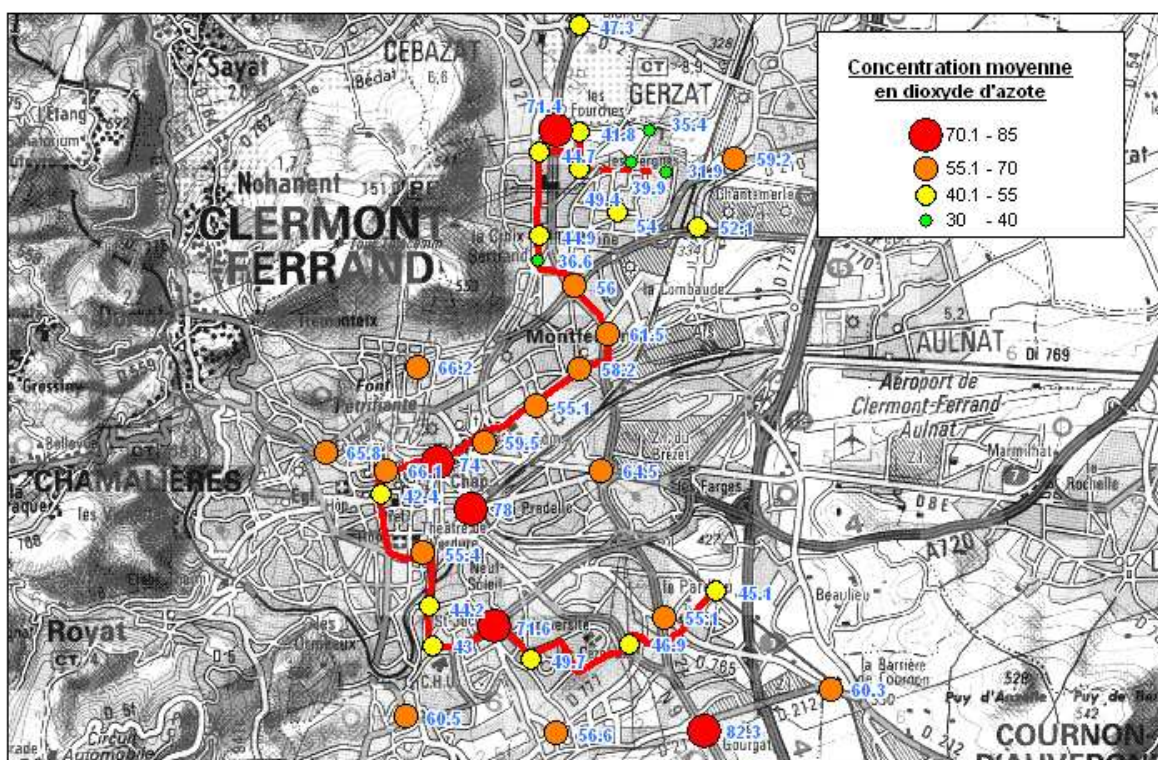
	Moyenne des sites fixes			Moyenne des échantillonneurs passifs
	urbain	périurbain	proximité automobile	
Semaine 1	31	22	45	47,2
Semaine 2	38	26	56	57,8
Semaine 3	38	26	54	62,3
Semaine 4	32	22	47	47,0
Semaine 5	34	25	50	63,7
Semaine 6	22	16	34	44,9
Ensemble	33	23	48	53,8

*Comparaisons échantillonneurs passifs / analyseurs automatiques des moyennes hebdomadaires globales*

L'évolution des résultats des enregistrements des échantillonneurs passifs sur la période de mesure est cohérente avec celle observée sur les sites fixes. Cependant, les moyennes spatiales des concentrations hebdomadaires relevées avec les échantillonneurs passifs sont de l'ordre de 10 % supérieures aux niveaux de proximité automobile obtenus sur les stations fixes. La surestimation déjà mise en exergue précédemment se retrouve ici.

En ce qui concerne l'établissement d'une carte des concentrations moyennes sur la période, cette surestimation n'est pas véritablement délicate à gérer. Par contre, pour une comparaison de l'évolution des niveaux sur le long terme, entre 2003 et 2008, l'exercice sera plus délicat.

La cartographie obtenue à partir des données relevées par les échantillonneurs passifs est présentée sur la figure suivante :



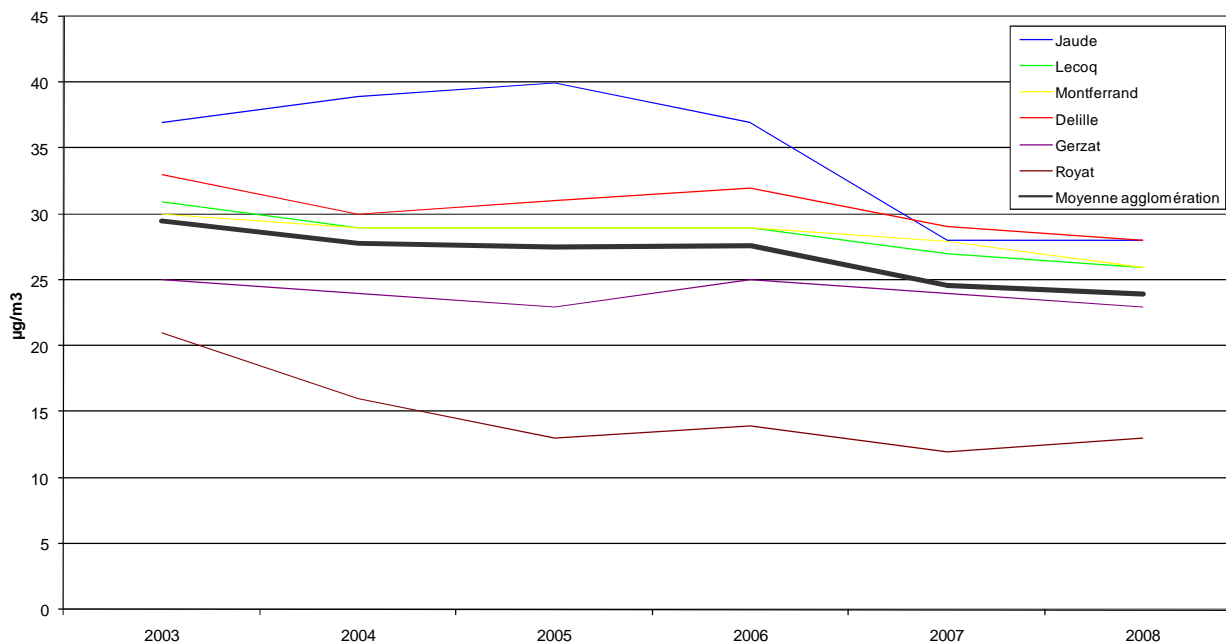
Répartition spatiale des concentrations moyennes en dioxyde d'azote

Les points les plus exposés au dioxyde d'azote sont principalement les entrées nord et sud, Carrefour des Fourches et Roussillon ainsi que le secteur Gare-Delille. Le site du boulevard Pochet-Lagaye est également soumis à des niveaux importants de ce polluant. La partie la plus au nord de la ligne est la plus épargnée par cette pollution. Dans la partie centrale, entre la place de la Fontaine à Montferrand et le jardin Lecoq, les niveaux sont moyens, alors qu'au sud des taux plus faibles se retrouvent. Généralement, les carrefours permettant l'accès au centre ville demeurent assez pollués.

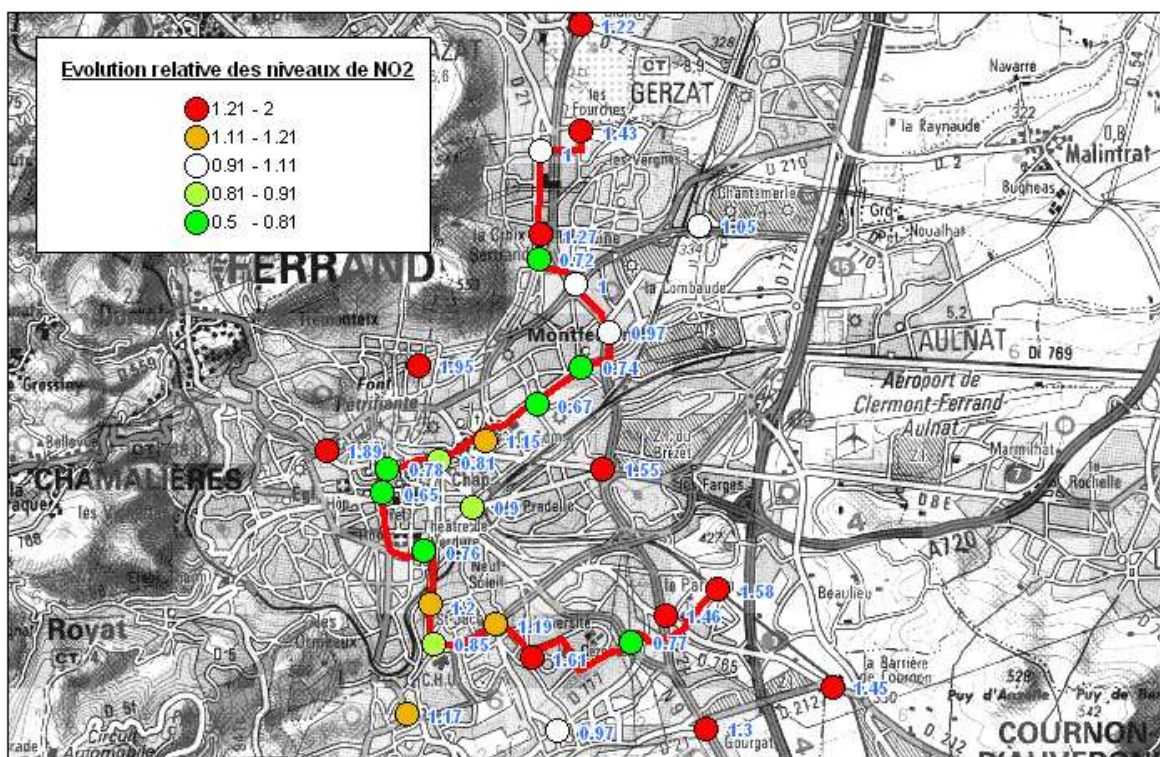
### Evolution par rapport à 2003

Nous avons vu que les niveaux enregistrés par les analyseurs fixes au cours des deux périodes (2003 et 2008) étaient équivalents. Par ailleurs, l'évolution des moyennes annuelles calculées à partir des sites de mesure en continu qui n'ont pas eu de modifications d'emplacement, montre une décroissance lente de l'ordre de 18 % sur les six dernières années (2003-2008). Cette baisse est légèrement plus importante sur la station de Jaude (-24 %) et plus faible en périphérie nord (-8 % à Gerzat).

### Evolution moyenne des niveaux de dioxyde d'azote dans l'agglomération clermontoise



Afin de procéder à une comparaison entre 2003 et 2008, il est possible de raisonner en relatif, chaque site équipé d'échantillonneur passif étant comparé à la moyenne de la période considérée puis son évolution par rapport à l'ensemble des sites cartographiés. Le document suivant est ainsi obtenu :



Carte de l'évolution relative du dioxyde d'azote entre 2003 et 2008

Globalement, tous les quartiers situés le long d'une large partie centrale de la ligne de tramway, enregistrent un impact positif en relatif, vis-à-vis de la pollution par le dioxyde d'azote. Géographiquement, ces quartiers vont de la rue du Torpilleur Sirocco jusqu'à la place Henri Dunant. Les entrées de ville et les extrémités nord et sud de la ligne relèvent, à contrario, une dégradation relative de la pollution par le dioxyde d'azote. En ce qui concerne les entrées de l'agglomération, cela peut être dû à l'augmentation du flux de circulation, y compris, par exemple sur le campus des Cézeaux. Quant aux extrémités de ligne, notamment à la Pardieu, la présence d'un parking-relais joue probablement un rôle sur une certaine augmentation des émissions.







## Résultats concernant le benzène

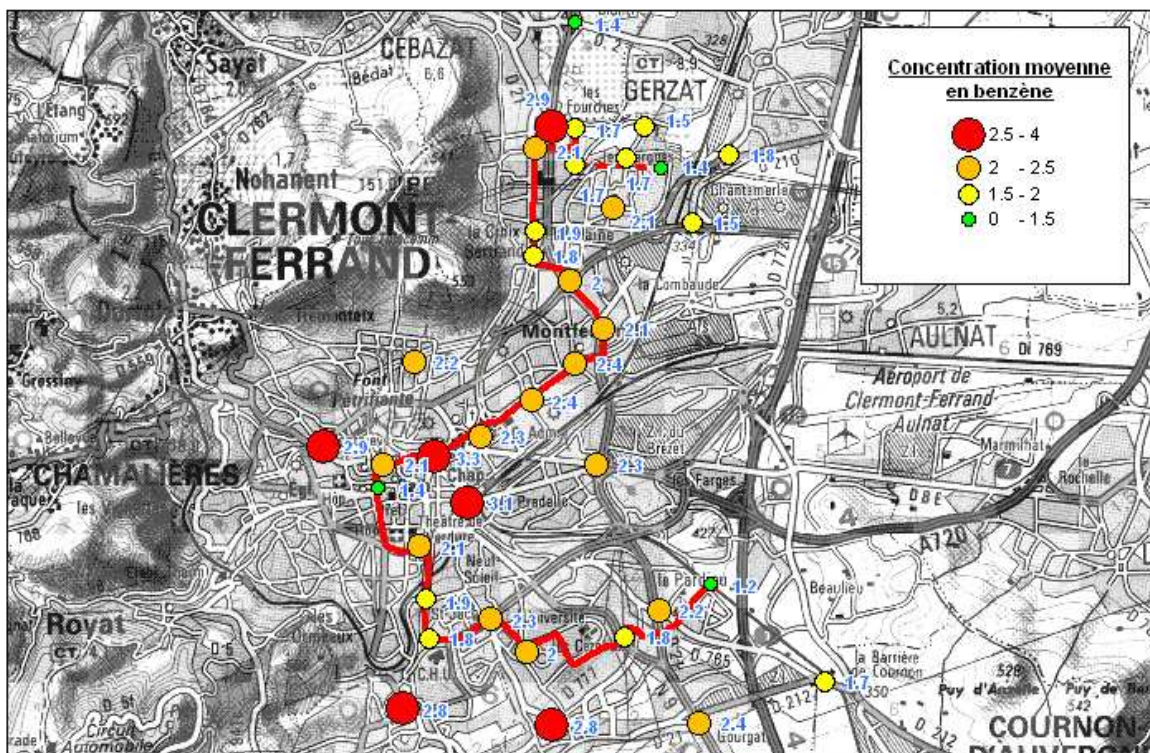
Les résultats détaillés des concentrations moyennes hebdomadaires en benzène, pour l'ensemble des sites et chacune des semaines de campagne, sont fournis en annexe 6.

Pour chaque semaine de campagne, la moyenne spatiale des mesures des échantillonneurs passifs est comparée avec la moyenne hebdomadaire observée sur la station fixe de la Gare dans le tableau suivant :

	Site fixe de la Gare	Moyenne des échantillonneurs passifs
Semaine 1	1,7	2,0
Semaine 2	2,0	2,2
Semaine 3	2,3	2,4
Semaine 4	2,2	2,1
Semaine 5	1,7	2,0
Semaine 6	0,9	1,5
Ensemble	1,8	2,0

### Comparaisons échantillonneurs passifs / analyseur automatique des moyennes hebdomadaires globales

La moyenne des échantillonneurs passifs est globalement légèrement supérieure aux valeurs enregistrées sur la station trafic de la Gare, unique point de relevé en continu du benzène dans l'agglomération et dont la représentativité spatiale est de l'ordre de la centaine de mètres. Seule la 4<sup>ème</sup> semaine fait exception. Ceci confirme une surestimation des niveaux par les échantillonneurs passifs. La cartographie des teneurs moyennes globales observées sur l'ensemble de la campagne de mesure est présentée sur la figure suivante :



Répartition spatiale des concentrations moyennes en benzène

La répartition spatiale des concentrations en benzène le long de la future ligne de tramway reste comparable avec celle précédemment décrite concernant le dioxyde d'azote, avec en particulier de plus faibles teneurs aux extrémités de ligne, sur les sites les plus éloignés du trafic et sur la place de Jaude. En revanche, certains carrefours d'entrée de ville ainsi qu'au centre sont les plus sujets à la pollution par le benzène. Ainsi, comme en 2003, les sites complémentaires 27 à 29, au Sud-Ouest de l'agglomération clermontoise présentent des niveaux élevés en benzène, supérieurs à ceux mesurés le long de la future ligne, alors qu'ils apparaissent moyennement exposés au dioxyde d'azote.

## Evolution par rapport à 2003

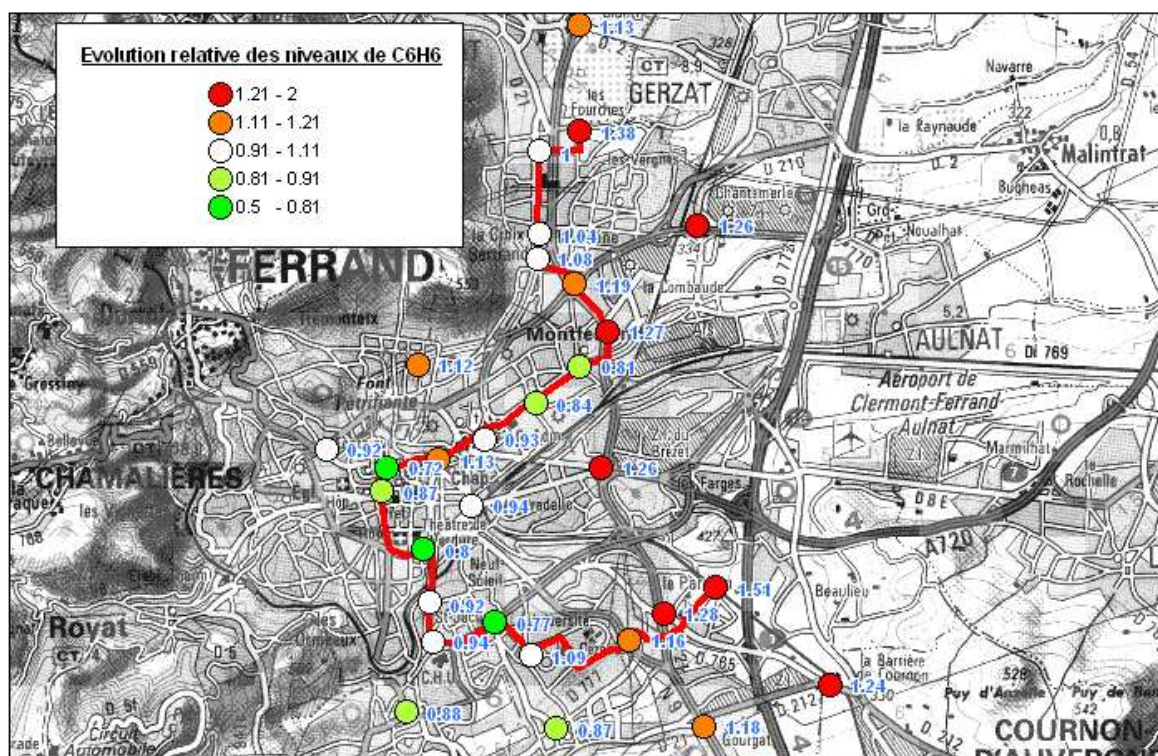
Si l'on se réfère aux stations fixes de prélèvement (Gaillard jusqu'en mars 2005 puis Esplanade de la Gare), stations de type trafic, la pollution par le benzène a diminué d'environ 66 % entre 2003 et 2008 en moyenne annuelle, suivant en cela la baisse du taux de benzène dans les carburants, comme le montre le tableau ci-après :

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Gaillard/Gare
2003	4.5
2004	3.7
2005	2.3
2006	2.9
2007	2.1
2008	1.5

*Moyennes annuelles en benzène dans l'agglomération clermontoise à partir des sites fixes*

Par contre les moyennes spatiales des concentrations hebdomadaires enregistrées lors des deux campagnes par échantillonneurs passifs sont identiques ( $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Comme pour le dioxyde d'azote, afin de procéder à une comparaison entre 2003 et 2008, nous procéderons par un raisonnement en relatif, chaque site équipé d'échantillonneur passif étant comparé à la moyenne de la période considérée puis son évolution par rapport à l'ensemble des sites cartographiés. Cet exercice permet d'aboutir au document suivant :



*Carte de l'évolution relative du benzène entre 2003 et 2006*

Il apparaît que la majeure partie de la ligne du tramway connaît une décroissance des niveaux de benzène plus importante que la moyenne. C'est notamment le cas du tronçon central compris entre Montferrand et les Cézeaux. C'est également vrai pour certains carrefours d'entrée de villes au sud. Par contre les tubes placés en tête de ligne ainsi que ceux les plus à l'est enregistrent une évolution moins favorable.

Un autre constat peut être fait en utilisant les données issues du site fixe. L'échantillonneur passif placé à proximité de la Gare enregistre des résultats pratiquement stables sur les deux campagnes alors que nous avons vu que la moyenne annuelle a décré de 66 % entre 2003 et 2008. Si l'on applique ce coefficient à l'ensemble des données, tous les sites peuvent être considérés comme relevant une baisse significative des niveaux de benzène.



### **Rappel de la situation de l'agglomération par rapport aux critères réglementaires**

Concernant le benzène, les chiffres issus de la station fixe de la Gare fournis précédemment indiquent que depuis 2008 même l'objectif de qualité est respecté, alors que ce n'était pas le cas précédemment.

La situation est plus délicate pour le dioxyde d'azote. Ainsi la procédure d'information et de recommandations de la population (voir annexe 3) a été déclenchée à 2 reprises en 2004, 4 fois en 2006 et 3 fois en 2007. De nouveaux déclenchements ont également eu lieu au début de l'année 2009. Par ailleurs, la moyenne annuelle sur le site de la Gare, le plus exposé, dépasse chaque année la valeur limite (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2008 pour 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  réglementaire).

De ce fait, les résultats issus de la campagne indiquent, même si l'extrapolation de mesures ponctuelles à des données statistiques annuelles est à considérer avec précaution, que l'ensemble des sites compris dans la catégorie de valeurs les plus élevées en dioxyde d'azote sont susceptibles de dépasser des critères réglementaires dont la valeur limite annuelle. Il s'agit des points de mesure Roussillon, Carnot-Gare, Fourches, Delille et Léon Blum.

## Conclusion

Dans le cadre du suivi de la qualité de l'air le long de la ligne A du tramway de l'agglomération clermontoise, Atmo Auvergne, à la demande du SMTC, a mis en œuvre une campagne de mesure de dioxyde d'azote et de benzène du 16 octobre au 27 novembre 2008 et fait suite à une campagne similaire menée en mars et avril 2003 avant la mise en service de ce transport en commun en site propre. Une évaluation similaire, tenant lieu de point zéro, a également été menée sur le secteur nord de l'agglomération concerné par le projet d'extension de la ligne actuelle de tramway.

Les mesures de concentrations hebdomadaires, obtenues au moyen d'échantillonneurs passifs, permettent de caractériser la pollution atmosphérique liée au transport routier le long du tracé de la ligne A et sur les principaux axes de circulation dont le trafic a pu être impacté par la mise en service de cette ligne.

Cette étude a montré que, globalement, les quartiers traversés par la ligne de tramway, particulièrement de Montferrand jusqu'à la place Henri Dunant, connaissent une évolution favorable de la qualité de l'air. Cette évolution est très probablement due aux moindres flux de circulation sur cette partie de la ligne. Un impact plus négatif est enregistré sur certaines entrées de la ville ainsi qu'en tête de ligne avec comme explication possible, notamment à La Pardieu, l'utilisation importante du parking-relais.

Cependant, cette campagne ne corrobore pas l'évolution générale favorable indiquée par les stations fixes de l'agglomération. Il est à noter que plusieurs études menées en France ont indiqué que la technique des échantillonneurs passifs, si ceux-ci étaient installés en proximité du trafic automobile, pouvaient amener des surestimations de l'ordre de 25 %. Sur l'ensemble du parc de prélèvement en continu, une baisse de 18 % en moyenne des niveaux de dioxyde d'azote est enregistrée entre 2003 et 2008, cette baisse atteignant 66 % en matière de benzène.

Toutefois ces évolutions n'empêchent pas des dépassements des différents critères réglementaires de la qualité de l'air, pour le dioxyde d'azote particulièrement, comme cela a été le cas en début d'année 2009. La circulation automobile demeure, dans l'agglomération clermontoise la principale contributrice de ces pollutions.

# **Annexes**

## Annexe 1 : Les mécanismes de la pollution atmosphérique

Les processus qui régissent la pollution atmosphérique s'échelonnent en plusieurs étapes. Tout d'abord s'effectue l'émission des polluants, rapidement suivie de leur dispersion puis de la phase de transformation chimique, qui a lieu au sein même de l'atmosphère.

### Émissions

Les émissions de polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air. Les polluants primaires, dont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les particules en suspension et certains composés organiques volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi bien des sources fixes (chauffages urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, en particulier les automobiles. La production de polluants primaires diminue en été car les chauffages ne fonctionnent pas et la circulation automobile s'allège dans les centres-villes.

### Transport et dispersion

Le phénomène de dispersion, c'est-à-dire le déplacement des polluants depuis la source, est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau...).

Deux types de dispersion peuvent être distingués :

- la dispersion verticale, liée au gradient vertical de température de la couche de surface, couche inférieure de l'atmosphère influencée par la présence du sol,
- la dispersion horizontale, également dénommée transport, liée à la vitesse et à la direction du vent.

Ainsi, une situation anticyclonique, caractérisée par des vents faibles, limite la dispersion horizontale. En hiver, des températures basses et un ciel dégagé favorisent de plus l'inversion du gradient thermique vertical (présence d'air plus chaud en altitude qu'au sol), ce qui diminue la dispersion verticale. Cette situation, fréquemment observable à Clermont-Ferrand, favorise des niveaux de pollution élevés car elle entraîne une accumulation des gaz, et conduit ainsi à des pics de pollution. A l'inverse, une situation dépressionnaire, généralement associée à des vents plus sensibles, permet une bonne dilution des polluants dans l'atmosphère. De plus, les précipitations, entraînant le dépôt humide des polluants (phénomène de lessivage), contribuent à la diminution des concentrations.

### Transformations chimiques

Au cours de la dispersion, les polluants peuvent se transformer par réactions chimiques complexes pour former les polluants secondaires tels que l'ozone et certains COV. Le dioxyde d'azote peut également être considéré comme essentiellement secondaire dans la mesure où les émissions directes des sources, bien que non négligeables, demeurent minoritaires.

La production d'ozone nécessite un fort rayonnement solaire et la présence de certains précurseurs, tels que les composés organiques volatils. Des réactions mêlant polluants primaires et secondaires se produisent alors, la plus courante étant la réaction réversible entre l'ozone et les oxydes d'azote ( $\text{NO} + \text{O}_3 \leftrightarrow \text{O}_2 + \text{NO}_2$ ) qui a lieu en présence de lumière et pour de fortes concentrations en monoxyde d'azote. Cette réaction peut expliquer l'observation de teneurs en ozone plus faibles dans les agglomérations pendant les heures où le trafic est important (destruction de l'ozone par réaction avec le monoxyde d'azote). A contrario, les stations périurbaines, situées sous le vent de la ville, connaissent les pointes maximales d'ozone, car en l'absence d'émissions importantes de monoxyde d'azote, les masses d'air polluées transportées s'enrichissent en ozone.

## Annexe 2 : Les polluants mesurés et leurs effets

### Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

Les oxydes d'azote se présentent sous plusieurs formes chimiques. Les mesures concernent uniquement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).

**Origine** : Les oxydes d'azote sont principalement émis par les automobiles (68 % en Auvergne), l'agriculture et la sylviculture (16 %) et par les installations de combustion (centrales thermiques, usines de traitement des déchets...). Le monoxyde d'azote est directement émis et se transforme en dioxyde d'azote. Le dioxyde d'azote est un précurseur de l'ozone lorsque les conditions météorologiques le permettent (action photochimique du soleil).

Dans les agglomérations clermontoise et aurillacoise, le transport routier représente 75 % des émissions d'oxydes d'azote, et environ 65 % à Montluçon et au Puy-en-Velay.

**Effets** : Le dioxyde d'azote est plus toxique que le monoxyde d'azote et fait donc l'objet de normes. C'est un gaz irritant, provoquant des troubles respiratoires et des irritations des poumons. Il perturbe également le transport du dioxygène (O<sub>2</sub>) dans le sang en l'empêchant de se lier à l'hémoglobine. Enfin, le dioxyde d'azote accroît la sensibilité aux virus.

### Les Benzène-Toluène-Xylène (BTX)

Ces polluants font partie des composés organiques volatils (COV), molécules organiques constituées principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ce sont des hydrocarbures aromatiques monocycliques.

**Origine** : La principale source est la circulation automobile (gaz d'échappement et évaporation des carburants) et certaines industries chimiques émettant des solvants spécifiques. Le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) est utilisé dans les carburants en remplacement du plomb.

**Effets** : Ils diffèrent selon la nature du composé. Cela peut se traduire par une diminution de la capacité respiratoire ou par des effets mutagènes voire cancérogènes pour le benzène. Ils provoquent également une irritation des yeux. Ils sont, au même titre que les oxydes d'azote, des précurseurs de l'ozone et participent à l'effet de serre. Il est important de préciser que la cigarette est la source de 40 % de l'exposition des êtres humains au benzène.

## Annexe 3 : Les critères réglementaires de la qualité de l'air

Les critères nationaux de qualité de l'air font l'objet du décret 2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites. Ce décret d'application de la loi sur l'air résulte notamment de la transposition des directives européennes 1999/30/CE du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du 16 novembre 2000.

### Terminologie

Les différents niveaux de concentration fixés dans la réglementation sont définis dans la loi sur l'air et ses décrets d'application :

- **objectif de qualité** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée ;
- **valeur limite** : niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement ;
- **seuil de recommandation et d'information** : seuil au-delà duquel la concentration en polluants a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée ;
- **seuil d'alerte** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

### Principaux critères réglementaires

Polluant	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
<b>NO<sub>2</sub></b>	En moyenne annuelle pour la protection de la santé : 2008 : 44 µg/m <sup>3</sup> 2010 : 40 µg/m <sup>3</sup>  En moyenne horaire pour la protection de la santé : 2008 : 18 dépassements annuels de 220 µg/m <sup>3</sup> 2010 : 18 dépassements annuels de 200 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire	400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire  200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire en cas de dépassement de cette valeur la veille et de risque de dépassement le lendemain
<b>Benzène</b>	En moyenne annuelle pour la protection de la santé : 2008 : 7 µg/m <sup>3</sup> 2010 : 5 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle		

## Annexe 4 : Principes et mise en œuvre des échantillonneurs passifs

### Introduction

Il y a quelques années, les tubes à diffusion passive commencèrent à être utilisés pour mesurer le NO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ces échantillonneurs, recueillant le gaz par diffusion moléculaire dans un tube inerte au moyen d'un absorbant efficace, furent soumis à un examen de leurs performances avant d'être largement utilisés. Ils furent validés après de nombreuses comparaisons avec les méthodes de mesure reconnues.

Le caractère approprié de ces échantillonneurs pour le travail sur le terrain, y compris leur utilisation en vue de la conception d'un réseau de surveillance, fut démontré au cours d'une série de travaux et recherches effectuée au Royaume-Uni.

### Théorie

Le dioxyde d'azote est transporté dans le tube par diffusion moléculaire jusqu'à l'absorbant où il est retenu pour être mesuré ultérieurement. A température constante le flux unidirectionnel d'un gaz (1) à travers un gaz (2) est régi par la loi de Fick :

$$F_1 = - D_{12} \frac{dC_1}{dz}$$

où :

$F_1$  = flux de gaz (1) en moles (cm<sup>-2</sup> sec<sup>-1</sup>),

$D_{12}$  = coefficient de diffusion moléculaire du gaz (1) dans le gaz (2) (cm<sup>2</sup> sec<sup>-1</sup>),

$C_1$  = concentration du gaz (1) dans le gaz (2) (moles cm<sup>-3</sup>),

$z$  = longueur du parcours de diffusion (cm).

\* Traduit du rapport " A survey of nitrogen dioxide in Paris " par D.H.F. Atkins EUR 13369 EN

Pour un échantillonneur de forme cylindrique de longueur  $z$  cm et de section transversale interne  $\pi r^2$  cm<sup>2</sup> parcouru par un gradient de concentration ( $C_1-C_2$ ) moles cm<sup>-3</sup> le long de celui-ci la quantité  $Q$  de gaz (1) transférée en  $t$  secondes peut être obtenue à partir de la forme intégrée de la loi de Fick :

$$Q = F_1 \pi r^2 t = - \frac{D_{12}(C_1 - C_2) \pi r^2 t}{z} \text{ moles}$$

$C_2$  étant considérée comme nulle au voisinage de l'absorbant, cette expression se simplifie de la façon suivante :

$$Q = - \frac{D_{12} C \pi r^2 t}{z} \text{ moles}$$

$$C_1 = \frac{Qz}{D_{12} \pi r^2 t} = \frac{Q}{V}$$

D'où le débit de diffusion par unité de temps,  $\frac{D_{12} \pi r^2}{z}$  en cm<sup>3</sup>/heure, ne dépend que de ses dimensions ( $r$  et  $z$ ), qui

peuvent être mesurées, et du coefficient de diffusion du NO<sub>2</sub> dans l'air, disponible dans les tables de constantes. Les tubes à diffusion peuvent donc être considérés comme des dispositifs d'échantillonnage absolus. Le seul étalonnage requis est effectué lors de la détermination chimique du NO<sub>2</sub> absorbé.



## Préparation des échantillonneurs

Les disques en treillis d'acier inoxydable (4 mailles par mm) de 1,2 cm de diamètre sont nettoyés par traitement au détergent dans un bain aux ultrasons, puis lavés à l'eau déminéralisée et séchés à 100°C. Les paires de disques sont placées dans les capsules de polyéthylène colorées, et imprégnées, au moyen d'une micro-pipette, par 30 µl d'une solution aqueuse de triéthanolamine à 10 %, contenant un peu de détergent non ionique (BRIJ-35). Ce volume suffit tout juste à humidifier complètement la surface des disques. Les capsules colorées contenant les disques imprégnés sont placées à l'une des extrémités du tube, l'autre extrémité étant immédiatement fermée hermétiquement au moyen des capsules transparentes. Les tubes à diffusion sont conservés jusqu'à leur utilisation dans un réfrigérateur.

## Échantillonnage

Les sites d'échantillonnage sont très soigneusement sélectionnés. Il est indispensable de choisir des sites permettant à l'air de se déplacer sans restriction autour des tubes à diffusion. On évitera également de fixer les tubes échantillonneurs à proximité de surfaces susceptibles de présenter une vitesse de dépôt élevée, ce qui pourrait localement diminuer les concentrations du polluant. On écartera de même les sites où l'air est stagnant, ce qui risque de créer à l'extrémité du tube une zone où la concentration de NO<sub>2</sub> s'est raréfiée, entraînant un accroissement de la longueur du parcours de diffusion.

Les échantillonneurs sont montés verticalement, avec la capsule contenant les disques imprégnés vers le haut. Ils sont fixés au moyen de clips montés sur des blocs en bois de 5 cm de côté. Ces derniers écartent les échantillonneurs des surfaces où ils sont installés. Les blocs, attachés au moyen de ruban adhésif, sont placés à une hauteur de 3 à 4 m du sol. Au début de l'échantillonnage on retire la capsule inférieure (transparente) du tube, et l'on note la date, l'heure et le site d'échantillonnage. A la fin de la période d'échantillonnage, le tube est refermé au moyen de la capsule et l'on note à nouveau la date et l'heure. Des particularités éventuelles à propos du site d'échantillonnage et le temps d'exposition sont envoyés avec le tube exposé au laboratoire d'analyses.

## Analyses

Le dioxyde d'azote recueilli par la substance absorbante, la triéthanolamine, est mesuré par spectrophotométrie selon une variante de la méthode de Griess-Saltzman (Atkins, 1978). On retire les capsules transparentes des tubes à diffusion et l'on ajoute avec une micro-pipette 3,15 ml d'une solution de sulphanilamide (2 % poids/volume) et de N-1-dihydrochlorure de naphthyléthylènediamine (0,007 % poids/volume) dans 5 % (volume/volume) d'acide orthophosphorique. On prépare cette solution au moment de l'usage. On remet en place les capsules de polyéthylène et l'on agite doucement les tubes fermés hermétiquement. Le nitrite, formé à partir du NO<sub>2</sub> recueilli, réagit dans la solution d'acide phosphorique avec le sulphanilamide en donnant un sel de diazonium qui s'associe avec le dérivé de naphthalène pour former un complexe coloré. L'absorbance de la solution est mesurée à 542 nm après un temps de développement de la couleur de minimum 30 minutes. L'azocolorant est stable en solution pendant quelques jours. La quantité d'ions nitrite dans l'échantillon et donc de NO<sub>2</sub> recueilli, est mesurée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue à partir de solutions standards de nitrite de sodium. La concentration moyenne de NO<sub>2</sub> dans l'air échantillonné est calculée à partir de la masse de polluant recueillie, du temps d'exposition et du débit de diffusion du tube.

## Principes de l'analyse des échantillonneurs de benzène

Les composés sont désorbés thermiquement de la cartouche d'adsorbant, puis sont séparés par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et enfin détectés par ionisation de flamme (FID). Le laboratoire est régulé en température à 21 ± 3 °C.

Le calcul de la concentration massique s'effectue selon la formule :  $C = m_{\text{éch}} \times 10^3 / D_{\text{éch}} \times t$

où  $m_{\text{éch}}$  est la masse de composé échantillonné sur la cartouche en ng,  $D_{\text{éch}}$ , le débit d'échantillonnage du composé en ml/min et  $t$ , la durée d'exposition en minutes.

Le débit d'échantillonnage a été déterminé par de nombreux essais en chambre d'exposition réalisés par l'Ecole des Mines de Douai. Pour une durée de 7 jours il est considéré égal à 31.424-0.178T où T représente la température moyenne sur la période d'exposition. Les concentrations sont ensuite normalisées à 20°C et 1013hPa.

## Avantages et inconvénients de la méthode

### Avantages

- Méthode fiable. Technique analytique simple,
- Pas d'alimentation électrique, pas d'entretien ni de protection contre les intempéries,
- Préparation, mise en œuvre et analyse faciles,
- Possibilité d'utilisation en grand nombre,
- Aucun calibrage sur le terrain,
- Possibilité de réutilisation. Coûts peu élevés.

### Inconvénients

- Ne convient pas pour les échantillonnages de courte durée, sauf pour les niveaux élevés,
- Ne fournit pas de données en temps réel,
- Possibilité d'erreur lors des fluctuations rapides de concentration,
- Pour le benzène, cette technique n'est pas adaptée pour les concentrations supérieures à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## Annexe 5 : Résultats obtenus sur les stations fixes

### Exploitation des mesures de dioxyde d'azote en sites fixes

		moyenne des sites fixes			maximum des sites fixes			
		urbain	périurbain	proximité automobile	valeur	site	date	
Semaine 1 16/10-23/10	moy	31	22	45	max J	85	Gare	20-oct
	c98	91	67	129	max H	156	Gare	20-oct
Semaine 2 23/10-30/10	moy	38	26	56	max J	73	Gare	27-oct
	c98	81	67	113	max H	136	Roussillon	27-oct
Semaine 3 30/10-6/11	moy	38	26	54	max J	89	Gare	04-nov
	c98	88	72	121	max H	139	Gare	03-nov
Semaine 4 6/11-13/11	moy	32	22	47	max J	78	Gare	08-nov
	c98	79	71	111	max H	149	Gare	12-nov
Semaine 5 13/11-20/11	moy	34	25	50	max J	74	Gare	14-nov
	c98	76	70	103	max H	137	Gare	18-nov
Semaine 6 20/11-27/11	moy	22	16	34	max J	73	Gare	27-nov
	c98	66	66	92	max H	138	Gare	24-nov
Ensemble 16/10-27/11	moy	33	23	48	max J	89	Gare	04-nov
	c98	81	71	116	max H	156	Gare	20-oct

### Exploitation des mesures de benzène en site fixe (Gare)

		maximum	
		valeur	date
Semaine 1 16/10-23/10	moy	1,7	
	c98	6,9	
Semaine 2 23/10-30/10	moy	2,0	
	c98	5,5	
Semaine 3 30/10-6/11	moy	2,3	
	c98	6,5	
Semaine 4 6/11-13/11	moy	2,2	
	c98	6,7	
Semaine 5 13/11-20/11	moy	1,7	
	c98	6,2	
Semaine 6 20/11-27/11	moy	0,9	
	c98	4,1	
Ensemble 16/10-27/11	moy	1,8	
	c98	6,5	
	max J	3,6	20-oct
	max H	12,2	20-oct
	max J	2,8	26-oct
	max H	6,9	27-oct
	max J	3,4	04-nov
	max H	7,6	04-nov
	max J	3,1	06-nov
	max H	8,5	12-nov
	max J	2,8	14-nov
	max H	7,6	18-nov
	max J	3,3	27-nov
	max H	5,6	24-nov
	max J	3,6	20-oct
	max H	12,2	20-oct

## Annexe 6 : Résultats obtenus avec les échantillonneurs passifs

### Mesures de dioxyde d'azote

site	S1	S2	S3	S4	S5	S6	moyenne 16/10-27/11
	16/10-23/10	23/10-30/10	30/10-06/11	06/11-13/11	13/11-20/11	20/11-27/11	
01	28,6	47,4	60,3	40,1	41,9	32,5	41,8
02	34,9	51,2	nd	42,5	55,7	39,3	44,7
03	36,5	45,5	44,4	45,7	60,3	37,3	44,9
04	31,8	42,3	43,4	32,0	36,7	33,1	36,6
05	45,2	49,5	65,7	59,2	62,7	49,1	55,2
06	57,7	60,7	70,9	63,6	68,9	47,3	61,5
07	47,9	56,2	69,9	49,5	73,3	52,1	58,2
08	41,6	68,2	73,2	54,7	52,7	40,2	55,1
09	60,8	63,9	78,6	54,3	62,5	36,8	59,5
10	57,6	89,1	80,3	74,6	89,6	53,1	74,0
11	41,0	61,4	49,5	46,9	143,2	54,7	66,1
12	43,9	41,0	47,0	35,0	51,4	36,1	42,4
13	43,7	64,9	46,7	45,9	69,8	61,1	55,4
14	38,2	51,3	46,0	28,4	62,1	41,9	44,6
15	34,6	51,5	51,3	33,7	47,7	39,4	43,0
16	nd	101,2	68,3	40,9	76,0	nd	71,6
17	34,0	74,3	48,9	45,1	64,0	32,2	49,7
18	nd	52,1	54,0	32,7	55,2	40,6	46,9
19	61,7	52,1	58,1	44,8	58,5	55,5	55,1
20	34,5	51,9	63,9	32,3	52,1	35,6	45,1
21	43,7	39,0	57,9	46,4	60,0	36,5	47,3
22	42,2	48,1	64,6	52,9	58,6	46,4	52,1
23	52,9	77,2	83,2	57,6	68,6	47,4	64,5
24	63,6	81,1	92,4	70,6	110,0	50,4	78,0
25	56,1	47,1	52,8	46,2	96,1	63,5	60,3
26	78,7	104,4	86,5	57,1	99,3	68,2	82,3
27	57,1	70,8	63,7	36,8	53,2	58,3	56,6
28	53,7	58,9	73,1	50,7	64,9	61,8	60,5
29	56,3	78,6	89,5	47,6	72,0	51,0	65,8
30	71,2	63,5	78,7	61,8	74,0	47,8	66,2
31	63,0	67,6	69,4	77,7	67,6	82,8	71,4
32	56,3	61,4	68,5	52,2	66,1	50,4	59,2
33	25,0	38,0	40,7	35,8	36,4	22,2	33,0
34	22,6	40,7	56,3	36,6	35,1	20,9	35,4
35	43,1	32,8	53,2	38,6	40,1	31,9	39,9
36	59,2	52,2	58,0	50,4	60,8	43,2	54,0
37	61,1	34,7	65,0	44,2	41,8	49,5	49,4
38	42,5	51,3	42,1	29,5	60,4	37,0	43,8
39	49,8	57,7	71,4	53,1	65,3	42,7	56,7
40	21,3	30,0	43,8	31,3	35,3	22,8	30,7
<b>Moyenne</b>	<b>47,2</b>	<b>57,8</b>	<b>62,3</b>	<b>47,0</b>	<b>63,7</b>	<b>44,9</b>	<b>53,8</b>

## Mesures de benzène

site	S1 16/10-23/10	S2 23/10-30/10	S3 30/10-06/11	S4 06/11-13/11	S5 13/11-20/11	S6 20/11-27/11	moyenne 16/10-27/11
01	nd	1,9	2,1	nd	1,6	1,2	1,7
02	nd	2,2	2,6	2,2	2,2	1,6	2,1
03	1,9	2,0	2,4	2,0	1,9	1,3	1,9
04	1,7	1,8	2,1	1,8	1,8	1,4	1,8
05	2,0	2,0	2,4	nd	1,9	1,5	2,0
06	2,0	2,0	2,3	2,3	1,8	1,5	2,1
07	1,9	2,5	2,9	2,8	2,2	2,0	2,4
08	2,4	nd	3,1	2,5	2,3	1,7	2,4
09	nd	2,4	2,5	2,3	2,5	1,7	2,3
10	3,2	3,4	3,6	3,0	3,5	nd	3,3
11	2,0	nd	2,5	nd	2,0	1,7	2,1
12	1,6	1,6	1,8	1,4	1,2	0,8	1,4
13	2,3	2,3	2,4	2,2	2,0	1,7	2,1
14	2,0	2,0	2,4	1,7	1,9	1,3	1,9
15	1,7	1,9	2,0	1,8	1,7	1,3	1,8
16	nd	nd	2,4	2,0	2,4	nd	2,3
17	1,8	2,2	2,4	2,0	2,2	1,5	2,0
18	1,7	2,0	2,1	1,8	1,9	1,3	1,8
19	2,0	2,3	2,7	2,3	2,1	1,8	2,2
20	1,1	1,2	1,6	1,2	1,3	0,9	1,2
21	1,4	1,5	1,7	nd	1,3	0,9	1,4
22	1,3	1,7	1,9	1,7	1,5	1,1	1,5
23	2,4	2,4	3,0	2,2	2,2	1,7	2,3
24	2,9	3,4	3,9	3,2	3,1	2,0	3,1
25	1,7	1,8	1,8	1,4	1,9	1,4	1,7
26	2,2	2,8	2,7	2,1	2,6	2,1	2,4
27	2,8	3,0	3,2	2,7	2,9	2,3	2,8
28	2,9	3,0	2,9	2,4	3,2	2,3	2,8
29	3,3	3,2	3,2	nd	2,7	2,0	2,9
30	2,1	2,4	2,4	2,4	2,1	1,6	2,2
31	2,8	2,9	3,0	3,0	2,7	2,6	2,9
32	1,6	1,8	2,1	1,9	1,9	1,4	1,8
33	nd	1,5	1,7	1,6	1,3	0,9	1,4
34	1,3	1,6	1,7	1,6	1,5	0,9	1,5
35	1,4	1,6	1,8	1,7	1,4	2,2	1,7
36	2,0	2,1	2,5	2,0	2,2	1,7	2,1
37	1,7	1,8	1,8	1,9	1,6	1,1	1,7
38	1,8	2,1	2,3	1,7	1,9	1,5	1,9
39	2,0	2,1	2,5	nd	2,0	1,5	2,0
40	nd	1,4	1,6	1,5	1,3	0,9	1,3
<b>Moyenne</b>	<b>2,0</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	<b>1,5</b>	<b>2,0</b>



# 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](mailto:contact@atmoauvergne.asso.fr)  
<http://www.atmoauvergne.asso.fr>

1<sup>er</sup> trimestre 2009

Rédaction : Serge Pellier