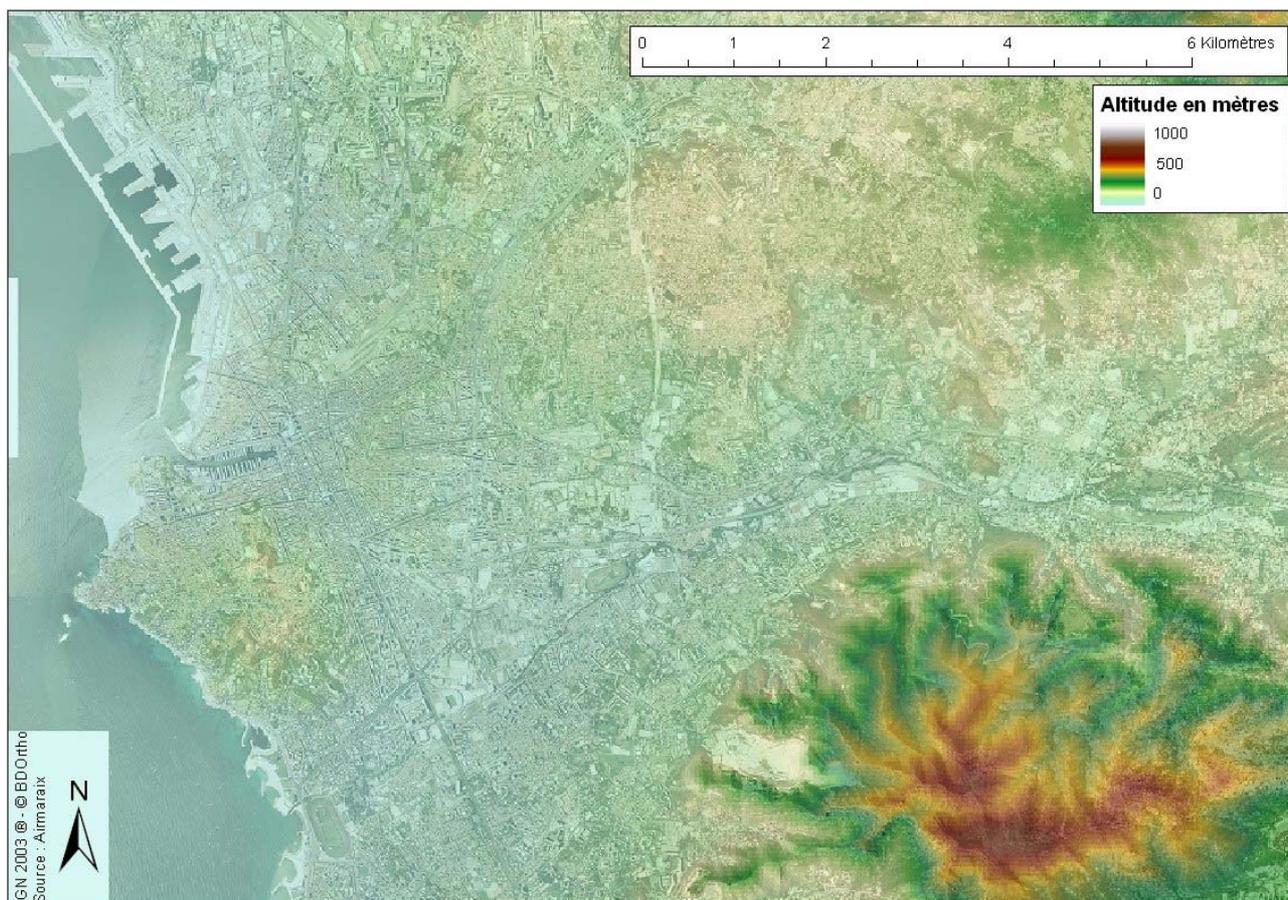


NIVEAUX DE BENZÈNE ET DE TOLUÈNE EN 2005 DANS LA VALLÉE DE L'HUVEAUNE À MARSEILLE



SOMMAIRE

1. PRÉSENTATION	4
2. RÉSULTATS – DISCUSSION	5
2.1. RÉSULTATS DES MESURES PERMANENTES DE BENZÈNE SUR MARSEILLE	5
2.1.1. ÉTUDE DES NIVEAUX ANNUELS	5
2.1.2. CORRÉLATION ENTRE LES NIVEAUX DE BENZÈNE ET D'OXYDES D'AZOTE	6
2.1.3. RAPPORT BENZÈNE / TOLUÈNE	7
2.2. IMPACT DU VENT SUR LES NIVEAUX DE BENZÈNE ET DE TOLUÈNE	7
3. APPORT DES ÉTUDES PONCTUELLES	9
3.1. CAMPAGNE 2003	10
3.2. CAMPAGNE 2005	10
3.2.1. ANALYSE DES RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE 2005	10
3.2.2. ÉTUDE DU RAPPORT BENZÈNE / TOLUÈNE	11
3.2.3. ÉVALUATION DE LA MOYENNE ANNUELLE EN FONCTION DU FACTEUR D'ENRICHISSEMENT	14
3.2.4. ENRICHISSEMENT EN BENZÈNE EN FONCTION DU VENT	18
3.3. APPORT DES CAMPAGNES DE MESURE ANTÉRIEURES POUR LA CARTOGRAPHIE	23
4. CORRÉLATION DU BENZÈNE AVEC LES AUTRES COV	25
4.1. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LA PÉRIODE DE MESURE	25
4.2. CORRÉLATION DES NIVEAUX DE BENZÈNE AVEC D'AUTRES TRACEURS	26
4.3. ÉTUDE D'UNE POINTE DE BENZÈNE CARACTÉRISTIQUE : LES 4 ET 5 JUIN 2003	27
4.4. ÉVOLUTION DES DONNÉES DE BENZÈNE DEPUIS LA CAMPAGNE	28
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	29
6. ANNEXES	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Tube à diffusion passive pour la mesure des BTX, dans son abri	4
Figure 2 : Evolution des niveaux de benzène sur le site de Plombières de 2003 à 2005	5
Figure 3 : Evolution des niveaux de benzène sur le site de la Penne sur Huveaune de 2003 à 2005.....	5
Figure 4 : Corrélation entre oxydes d'azote et benzène sur Plombières de 2003 à 2005.....	6
Figure 5 : Corrélation entre oxydes d'azote et benzène dans la Vallée de l'Huveaune de 2003 à 2005	6
Figure 6 : Evolution du rapport benzène sur toluène (B/T) sur les sites de Plombières et de la P/Huveaune	7
Figure 7 : Corrélation entre benzène et vitesse moyenne du vent sur 14 jours sur la Penne-sur-Huveaune	7
Figure 8 : Rose des vents de deux périodes différentes	8
Figure 9 : Corrélation entre toluène et vitesse moyenne du vent sur 14 jours sur la Penne-sur-Huveaune	8
Figure 10 : Implantation des sites et concentrations moyennes de benzène relevées pendant les campagnes 2003 et 2005 dans la vallée de l'Huveaune	9
Figure 11 : Niveaux moyens de benzène mesurés pendant la campagne de 2005.....	12
Figure 12 : Enrichissement relatif moyen en benzène évalué pendant la campagne de 2005	13
Figure 13 : Corrélation entre le rapport Campagne / 2005 et le facteur d'enrichissement	14
Figure 14 : Moyenne annuelle 2005 estimée en fonction du facteur d'enrichissement.....	17
Figure 15 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T1	19
Figure 16 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T2	20
Figure 17 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T3.....	21
Figure 18 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T4.....	22
Figure 19 : Enrichissement relatif en benzène évalué sur les différentes campagnes de mesure.....	24
Figure 20 : Corrélation du benzène avec d'autres polluants sur le site du Prado du 26/05/03 au 08/09/03	26
Figure 21 : Lien entre le benzène et les autres composés mesurés sur ce site. Ex. : les 4 et 5 juin 2003	27
Figure 22 : Exemples types de brises de mer et de brises de terre, canalisées par la vallée de l'Huveaune	28
Figure 23 : Evolution des niveaux de benzène sur les sites de mesure fixes de Marseille de 2003 à 2006	28
Figure 24 : Implantation des sites de mesure de la campagne 2005	30
Figure 25 : Niveaux de benzène mesurés pendant la campagne de 2005 – T1 et T2.....	32
Figure 26 : Niveaux de benzène mesurés pendant la campagne de 2005 – T3 et T4.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Niveaux de benzène relevés sur les sites de Marseille d'avril 2003 à décembre 2005	5
Tableau 2 : Niveaux de benzène et de toluène relevés dans la vallée de l'Huveaune du 23/04/03 au 16/07/03	10
Tableau 3 : Niveaux de benzène mesurés sur les sites permanents en 2005 et pendant la campagne de mesure	10
Tableau 4 : Niveaux de benzène relevés dans l'agglomération marseillaise par typologie en distinguant la vallée de l'Huveaune et son prolongement urbain du reste de la ville	11
Tableau 5 : Niveaux de benzène mesurés sur les stations fixes en 2005.....	14
Tableau 6 : valeurs de benzène mesurées durant la campagne et moyennes annuelles 2005 estimées	16
Tableau 7 : Données de COV et de NO _x du 26/05/03 au 08/09/03	25
Tableau 8 : Concentrations de benzène et toluène et rapport benzène / toluène relevés pendant la campagne 2005 sur l'agglomération marseillaise	31

1. PRÉSENTATION

La surveillance du benzène a été initiée à Airmaraix en 2000, en liaison avec la publication de la directive européenne du 13 décembre 2000. En 2002, le décret du 15 février définit :

- Une valeur limite pour la protection de la santé humaine est de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle entre 2002 et 2005, elle diminue ensuite de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ chaque année pour atteindre $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010.
- Un objectif de qualité est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les travaux exploratoires effectués sur dix secteurs de l'agglomération marseillaise du 28 mars au 15 juin 2000¹ indiquent des teneurs de $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur le site périurbain de la vallée de l'Huveaune. Cette concentration constitue le maximum de la campagne de mesure.

Depuis avril 2003, des mesures permanentes des BTEX (benzène, toluène, éthyl-benzène, o-xylène, m-p-xylène) sont effectués sur six sites de l'agglomération marseillaise, dont le site périurbain de la vallée de l'Huveaune. Les mesures effectuées sur ces sites sont réalisées par tubes à diffusion passive (Radiello) avec un prélèvement de 14 jours. Les analyses sont effectuées par la fondation Maugeri en Italie.

En 2005, une campagne de mesure visant à cartographier la pollution automobile de Marseille a également couvert la vallée de l'Huveaune. En outre, les campagnes temporaires effectuées autour de grandes infrastructures routières ont été intégrées à l'étude (Boulevard Urbain Sud, Liaison L2, Saint Charles, Axe Littoral).

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette étude vise à étudier les niveaux de benzène relevés dans la vallée de l'Huveaune, afin de préciser :

- Les niveaux par rapport aux normes et au reste de la ville,
- Contribuer à l'identification des sources.

Figure 1 : Tube à diffusion passive pour la mesure des BTX, dans son abri



¹ AIRMARAIX (2000) Bilan d'activités – Qualité de l'air de l'Est des Bouches du Rhône du Var et du Vaucluse, p.26

2. RÉSULTATS – DISCUSSION

2.1. RÉSULTATS DES MESURES PERMANENTES DE BENZÈNE SUR MARSEILLE

2.1.1. ÉTUDE DES NIVEAUX ANNUELS

Les mesures permanentes effectuées sur l'agglomération marseillaise depuis avril 2003 montrent des niveaux de benzène plus élevés sur les sites influencés par le trafic automobile (sites de trafic, site urbain en centre-ville). Le site de la vallée de l'Huveaune, périurbain, se distingue des autres avec des niveaux 2 à 3 fois plus importants (cf. Tableau 1).

Tableau 1 : Niveaux de benzène relevés sur les sites de Marseille d'avril 2003 à décembre 2005

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	St Louis	Plombières	Cinq Avenues	Timone	P/Huveaune	Ste Marguerite	Prado
	urbain	trafic	urbain	trafic	périurbain	urbain	urbain
avril - décembre 2003	1.4	3.8	/	3.7	6.4	2.4	3.2
année 2004	1.8	4.6	/	4.5	9.4	2.9	3.4
année 2005	1.5	3.6	2.2	3.7	9.2	/	3.3

L'évolution des concentrations de benzène sur le site trafic de Plombières indique une saisonnalité bien marquée avec des teneurs plus élevées en hiver, liées aux inversions thermiques plus fortes, à un trafic plus intense et une photochimie réduite (cf. Figure 2). Sur le site de la Penne-sur-Huveaune cette saisonnalité n'est pas très marquée et même quasi absente en 2005 (cf. Figure 3).

Figure 2 : Evolution des niveaux de benzène sur le site de Plombières de 2003 à 2005

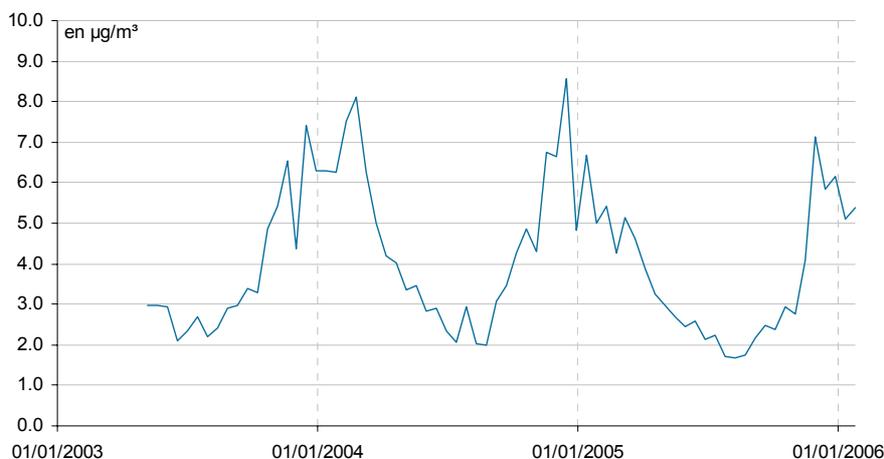
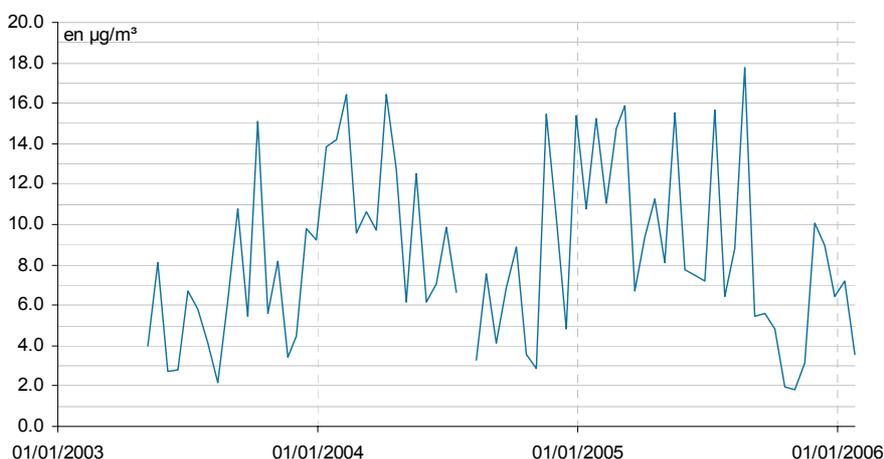


Figure 3 : Evolution des niveaux de benzène sur le site de la Penne sur Huveaune de 2003 à 2005



2.1.2. CORRÉLATION ENTRE LES NIVEAUX DE BENZÈNE ET D'OXYDES D'AZOTE

La corrélation linéaire entre les niveaux de benzène et d'oxydes d'azote sur le site de Plombières est de 0.79. Les oxydes d'azote étant un marqueur de la pollution par les transports en zone urbaine, cette relation indique la prédominance des émissions issues du trafic routier sur ce site pour le benzène (cf. Figure 4). Aucun lien n'est mis en évidence sur le site de la Penne-sur-Huveaune pour ces deux composés indiquant une source de benzène majoritairement différente du trafic (cf. Figure 5).

Figure 4 : Corrélation entre oxydes d'azote et benzène sur Plombières de 2003 à 2005

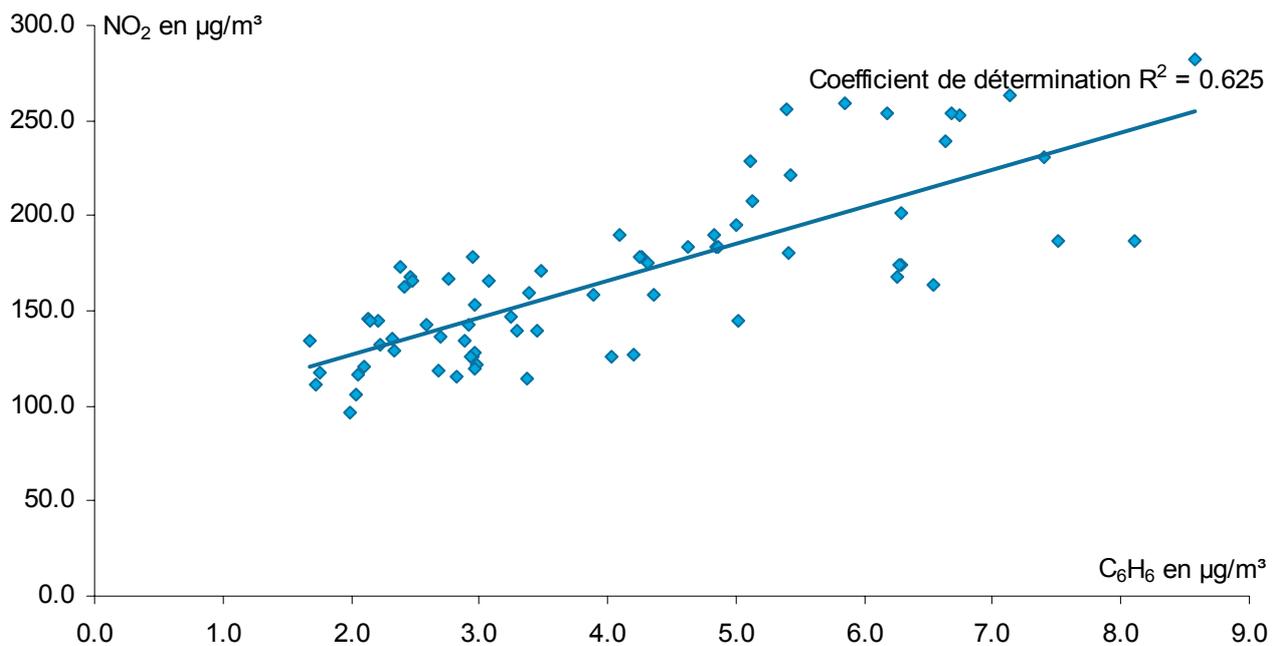
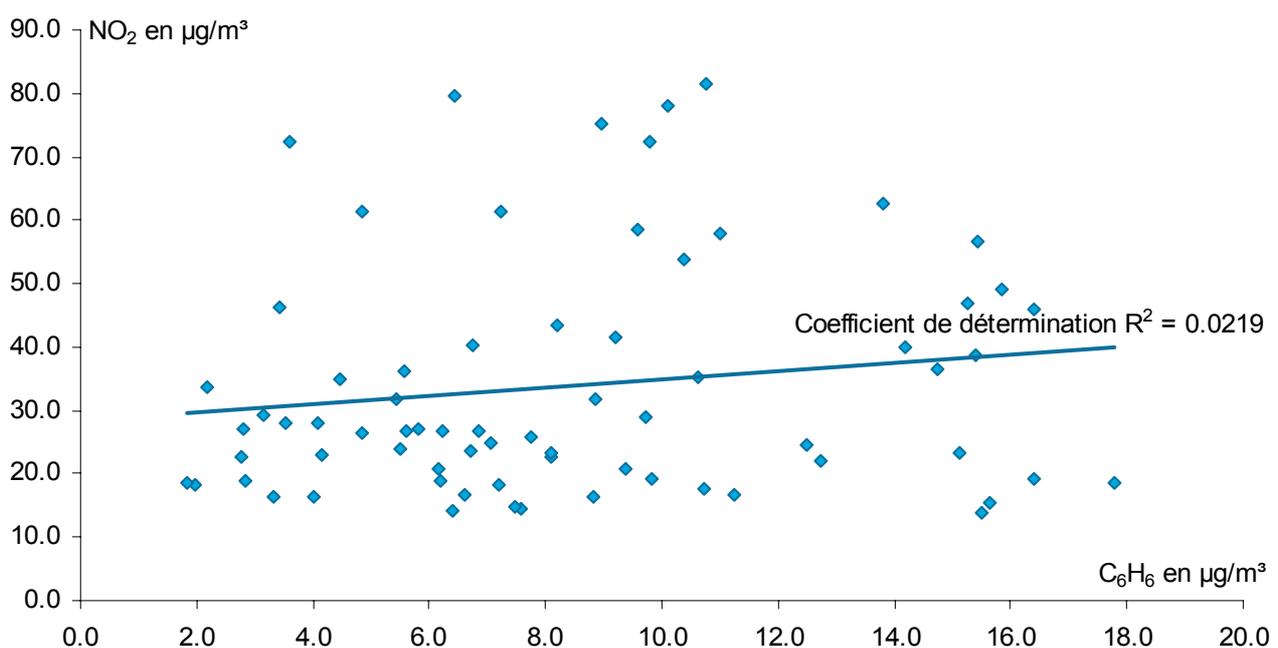
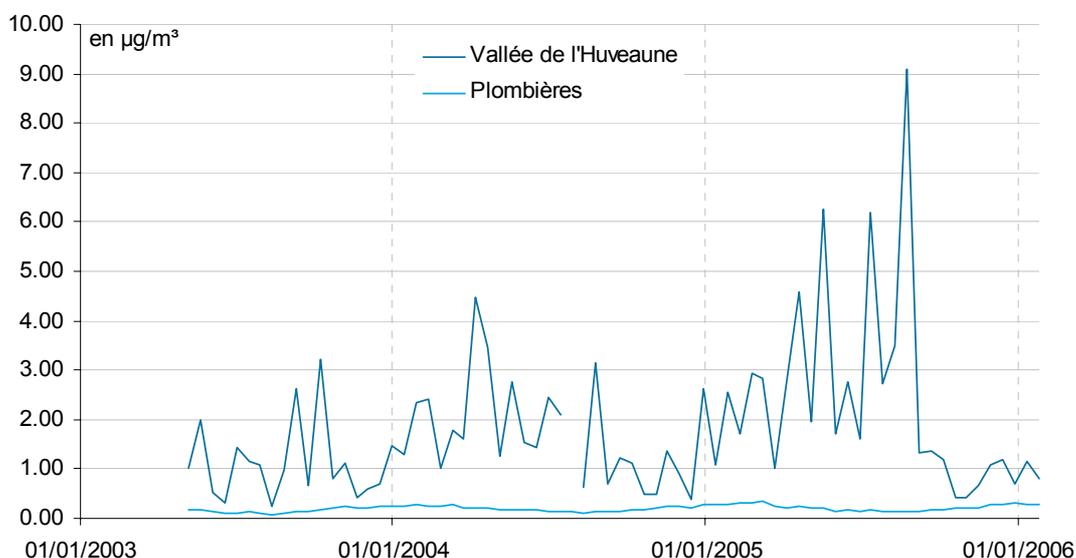


Figure 5 : Corrélation entre oxydes d'azote et benzène dans la Vallée de l'Huveaune de 2003 à 2005



2.1.3. RAPPORT BENZÈNE / TOLUÈNE

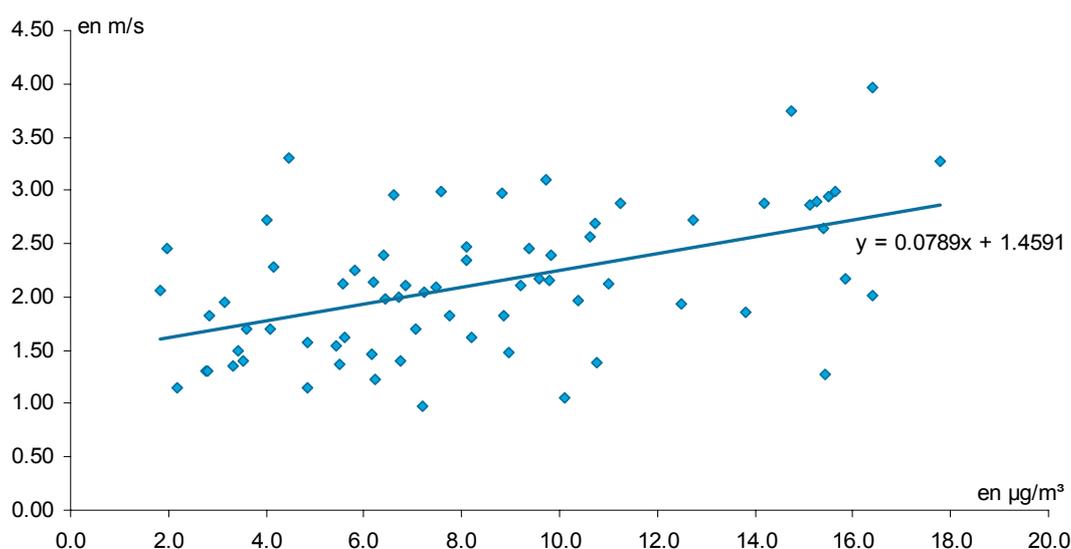
Figure 6 : Evolution du rapport benzène sur toluène (B/T) sur les sites de Plombières et de la P/Huveaune



Le rapport de B/T sur le site de Plombières, caractéristique d'une situation très majoritairement influencée par le trafic, varie de 8 à 35 % avec une moyenne d'environ 20 %. A titre de comparaison, le rapport B/T moyen des sites urbains et trafics des villes couvertes par Airmaraix, hors influence industrielle majeure, est respectivement de 24 et 26 % en 2004 et 2005. Sur le site de la Penne-sur-Huveaune, ce même rapport oscille de 24 à 909 %, avec une moyenne de 182 %. Si l'on considère que le rapport moyen du site Plombières est représentatif d'un site trafic (R B/T = 20 à 30 %), la contribution moyenne d'autres sources sur le site de la Penne-sur-Huveaune est près de 6 à 9 fois plus élevée.

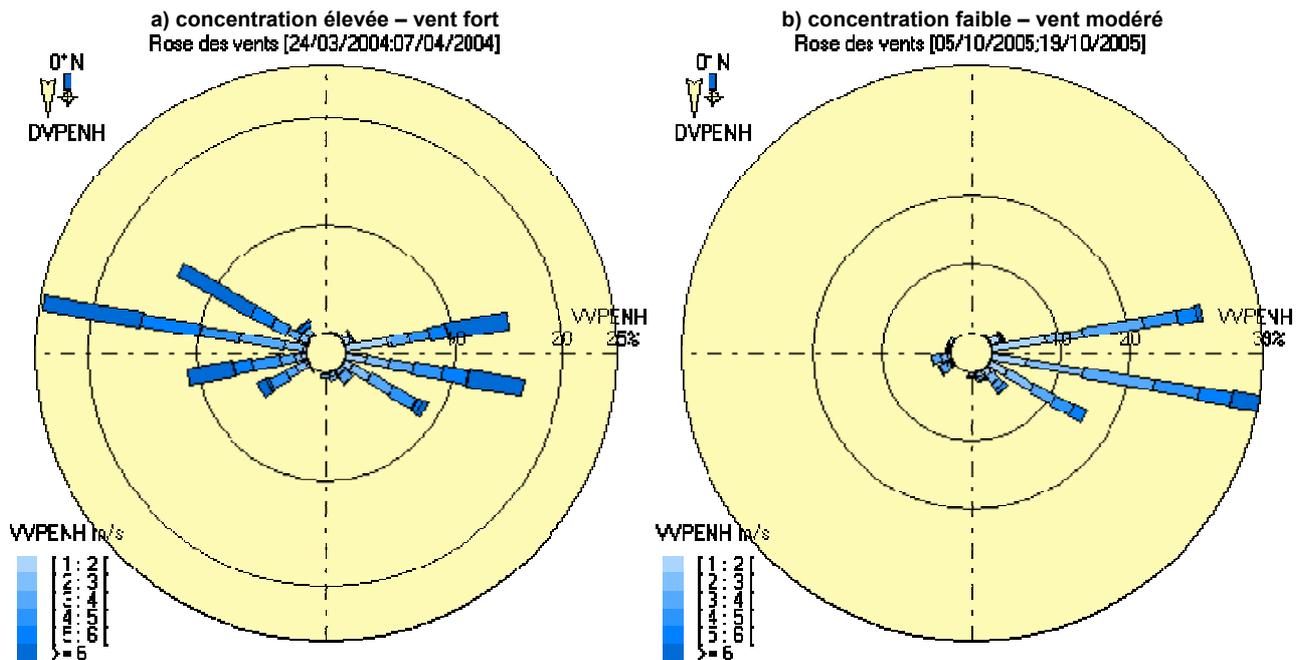
2.2. IMPACT DU VENT SUR LES NIVEAUX DE BENZÈNE ET DE TOLUÈNE

Figure 7 : Corrélation entre benzène et vitesse moyenne du vent sur 14 jours sur la Penne-sur-Huveaune



Le nuage de points de la Figure 7 ci-dessus indique que la concentration de benzène a tendance à augmenter avec la vitesse du vent. Cette relation est atypique, car généralement les vitesses de vent élevées entraînent une meilleure dispersion des polluants.

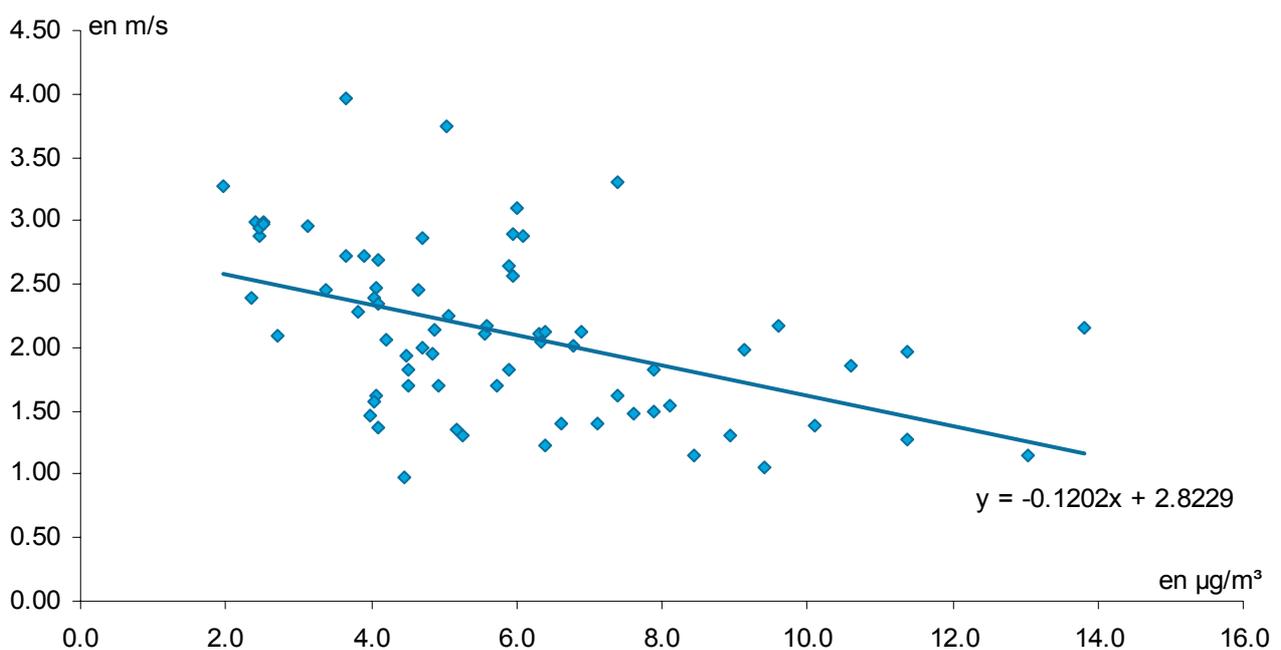
Figure 8 : Rose des vents de deux périodes différentes



L'étude de la concentration la plus basse relevée depuis le début des mesures de benzène sur ce site (octobre 2005) montre que par vent d'est l'influence des sources industrielles est faible (concentration moyenne de la période : $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et rapport B/T = 0.42). Ce sont donc a priori les flux d'ouest, dans ce secteur où le vent est fortement canalisé par la vallée, qui sont favorables à l'apport sur ce site de rejets situés à l'ouest de la station, notamment des complexes industriels proches.

Le graphe du toluène indique un comportement plus conforme à ceux rencontrés en agglomération (cf. Figure 9 ci-dessous).

Figure 9 : Corrélation entre toluène et vitesse moyenne du vent sur 14 jours sur la Penne-sur-Huveaune



3. APPORT DES ÉTUDES PONCTUELLES

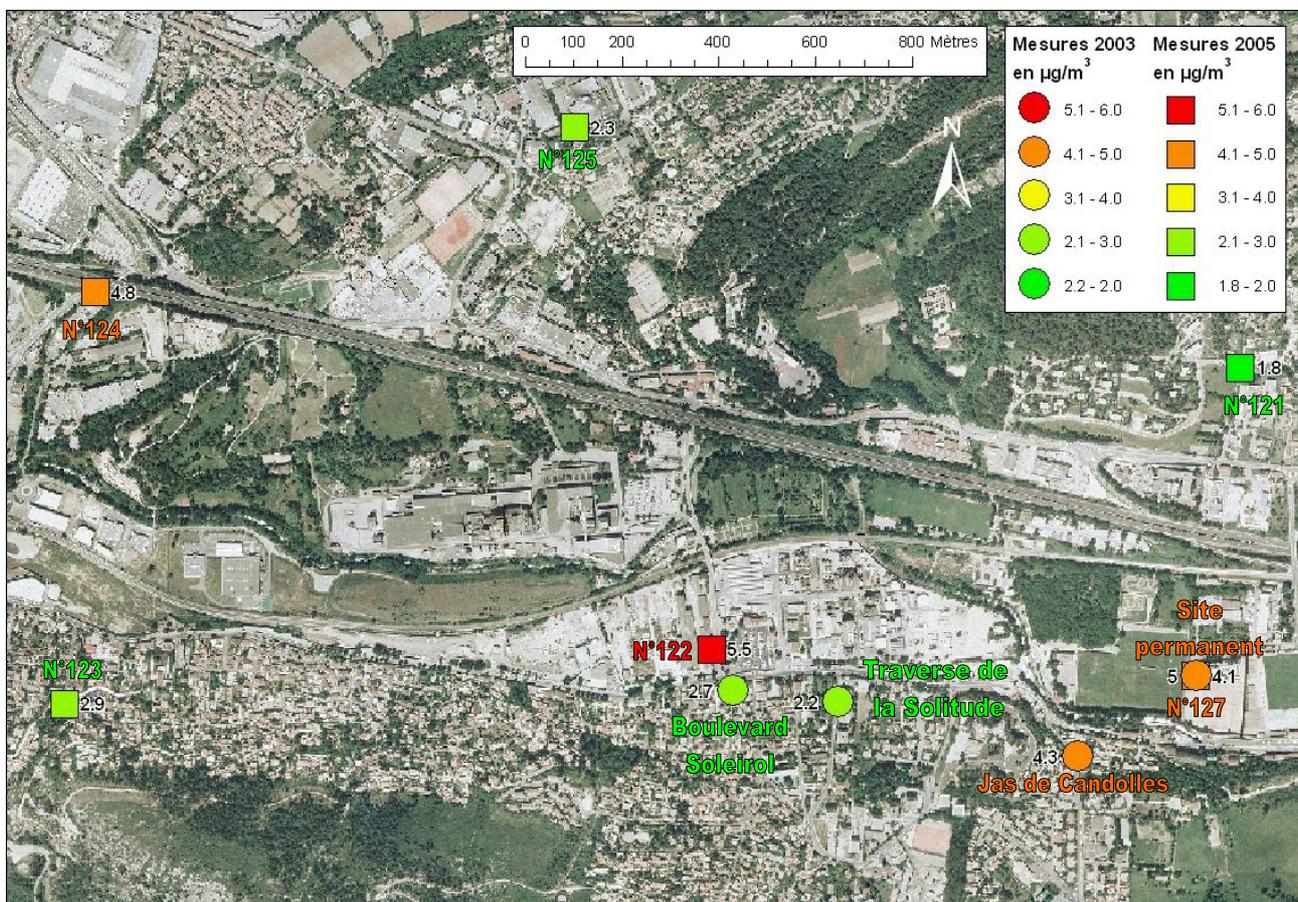
Deux campagnes de mesures ont été réalisées dans la vallée de l'Huveaune depuis avril 2003 :

- Une première campagne s'est déroulée du 23 avril au 16 juillet 2003 sur quatre points
- Une seconde campagne a été menée en fin d'année 2005, pendant deux mois

Compte tenu de la variabilité temporelle des niveaux de benzène et de toluène, les niveaux mesurés pendant les campagnes ne sont directement comparables ni entre eux, ni avec la moyenne annuelle, ni avec la valeur limite (annuelle) pour la protection de la santé (cf. Figure 10).

Ces campagnes ont cependant apporté de nombreuses informations sur les niveaux de benzène (ordre de grandeur) dans la zone (cf. chapitres suivants).

Figure 10 : Implantation des sites et concentrations moyennes de benzène relevées pendant les campagnes 2003 et 2005 dans la vallée de l'Huveaune



3.1. CAMPAGNE 2003

Du 23 avril au 16 juillet 2003, trois points de mesure complémentaires au site permanent de la Penne sur Huveaune ont été implantés dans la vallée de l'Huveaune. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Niveaux de benzène et de toluène relevés dans la vallée de l'Huveaune du 23/04/03 au 16/07/03

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne benzène	Moyenne toluène	Rapport Benzène/Toluène
Site Permanent (P/Huveaune)	5.0	5.3	0.95
Jas de Candolles	4.3	4.4	0.99
Traverse de la solitude	2.2	8.7	0.25
Boulevard Soleirol	2.7	8.1	0.34

Les teneurs relevées montraient une influence industrielle, au travers des teneurs constatées pour des sites périurbains, ainsi qu'au niveau de la perturbation du rapport B/T (>30%), en particulier sur le site permanent et celui du Jas de Candolles.

3.2. CAMPAGNE 2005

La campagne s'est déroulée du 7 septembre au 2 novembre 2005. Les concentrations mesurées sur près de 130 points dans Marseille permettent de caractériser assez finement le comportement des différents quartiers et en particulier les secteurs urbains, périurbains et trafics. L'analyse des niveaux indique que la vallée de l'Huveaune et une partie du centre ville sont soumis à des teneurs de benzène atypiques.

3.2.1. ANALYSE DES RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE 2005

L'étude des concentrations relevées sur la période par rapport à celles de l'ensemble de l'année mesurées sur les sites permanents (cf. Tableau 1 et Tableau 3) montre que les concentrations de la campagne de mesures sont inférieures de 16 à 27 % à la moyenne annuelle. Le site P/Huveaune indique un comportement particulier avec un écart de plus de 60 %.

Tableau 3 : Niveaux de benzène mesurés sur les sites permanents en 2005 et pendant la campagne de mesure

En $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Saint Louis	Plombières	Cinq Avenues	Timone	Penne-sur-Huveaune	Prado-Castellane
Année 2005 :	1.5	3.6	2.2	3.7	9.2	3.3
P _{campagne} : Sept. – oct. 2005	1.2	2.7	1.8	2.8	4.1	2.4
R Année 2005 / P _{campagne}	78 %	73 %	84 %	76 %	39 %	75 %

Si l'on majore les niveaux relevés pendant la campagne de 23 % (moyenne des rapports hors P/Huveaune) pour tenir compte de cet écart lié aux variations saisonnières et d'activité, les concentrations s'étalent de 1.1 à 7.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans la vallée de l'Huveaune, l'application de ce traitement statistique sous-estime notablement les teneurs de benzène, en liaison avec les processus particuliers qui s'y déroulent (cf. chapitre suivant). Par exemple, avec cette correction, les niveaux estimés sur le site Vallée de Huveaune sont de 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que la valeur moyenne annuelle effective du site est de 9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cet écart indique que les moyennes annuelles estimées par cette méthode ne sont pas représentatives dans la vallée de l'Huveaune où d'autres sources que celle du trafic deviennent sans doute prépondérantes.

Tableau 4 : Niveaux de benzène relevés dans l'agglomération marseillaise par typologie en distinguant la vallée de l'Huveaune et son prolongement urbain du reste de la ville

Niveaux de benzène en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	T1	T2	T3	T4	Moyenne
Moyenne sites Urbains	2.1	1.6	2.5	2.1	2.1
Moyenne sites Urbains (prolongement Vallée de l'Huveaune)	3.7	1.6	3.4	2.8	2.9
R U/U Huveaune	1.7	1	1.4	1.4	1.4
Moyenne sites Périurbains	1.1	1.0	1.3	0.9	1.1
Moyenne sites Périurbains (Vallée de l'Huveaune)	3.9	2.2	2.9	3.8	3.4
R P/P Huveaune	3.6	2.2	2.3	4.2	3.2

T1 à T4 : Tournées de mesures ; U : Urbain ; P : Périurbain

La concentration moyenne des sites urbains est de $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sans intégrer les sites : 51, 47, 48, 101, 90, 31, 91 dans le prolongement de la vallée de l'Huveaune). Celle des sites urbains dans le prolongement de la vallée de l'Huveaune est de $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ soit une teneur 40 % plus élevée en moyenne.

Si l'on considère les sites périurbains (sans les sites de la vallée de l'Huveaune) la concentration est de $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne dans la vallée, soit des niveaux 3 fois plus élevés.

3.2.2. ÉTUDE DU RAPPORT BENZÈNE / TOLUÈNE

Sur le même périmètre l'étude du rapport B/T (benzène/toluène) peut fournir des indications sur la contribution de différentes sources. Le rapport B/T est calculé sur l'ensemble de la ville. Le rapport médian² sur l'ensemble de la campagne de mesure (25 %) et par période sur les sites hors vallée de l'Huveaune (19 à 27 %) est caractéristique de situation majoritairement influencée par les transports. Si l'on divise chaque ratio par ces ratios médians pour l'ensemble de la campagne et par période de mesure, ce nouveau rapport fournit des indications sur l'enrichissement relatif ou l'appauvrissement relatif en benzène sur les points. Pour un site majoritairement influencé par le trafic pour le benzène et le toluène, ce rapport est voisin de 1, soit 100 %. Pour un site influencé par une autre source émettrice de benzène (industrielle par exemple), ce rapport est supérieur à 1 et pour l'enrichissement relatif en toluène le rapport sera inférieur à 1. Pour tenir compte des fluctuations modérées du rapport (liées à la présence de sources diffuses, à l'éloignement aux axes notamment en liaison avec la réactivité différentiels des deux COV) une tolérance de plus ou moins 25 % est utilisée. Les écarts supérieurs ou égaux à 25 % sont visualisés.

Ces calculs ont été effectués pour la moyenne de la campagne (cf. Figure 11 et Figure 12), ainsi que par période.

L'analyse des cartographies corrobore les résultats précédents concernant l'influence étendue de sources présentes dans la vallée de l'Huveaune.

² La médiane est utilisée ici afin de limiter l'influence des valeurs extrêmes.

Figure 11 : Niveaux moyens de benzène mesurés pendant la campagne de 2005

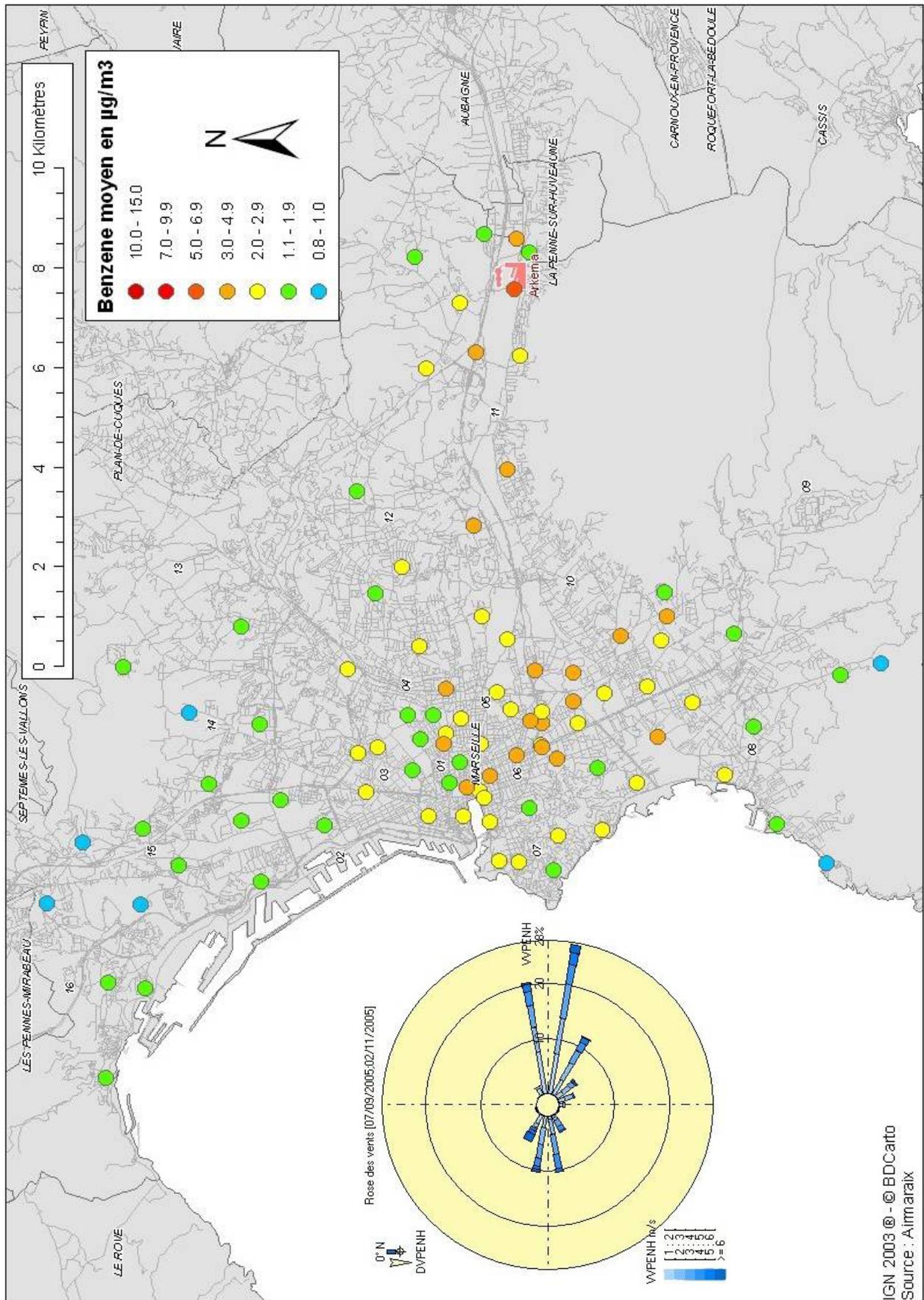
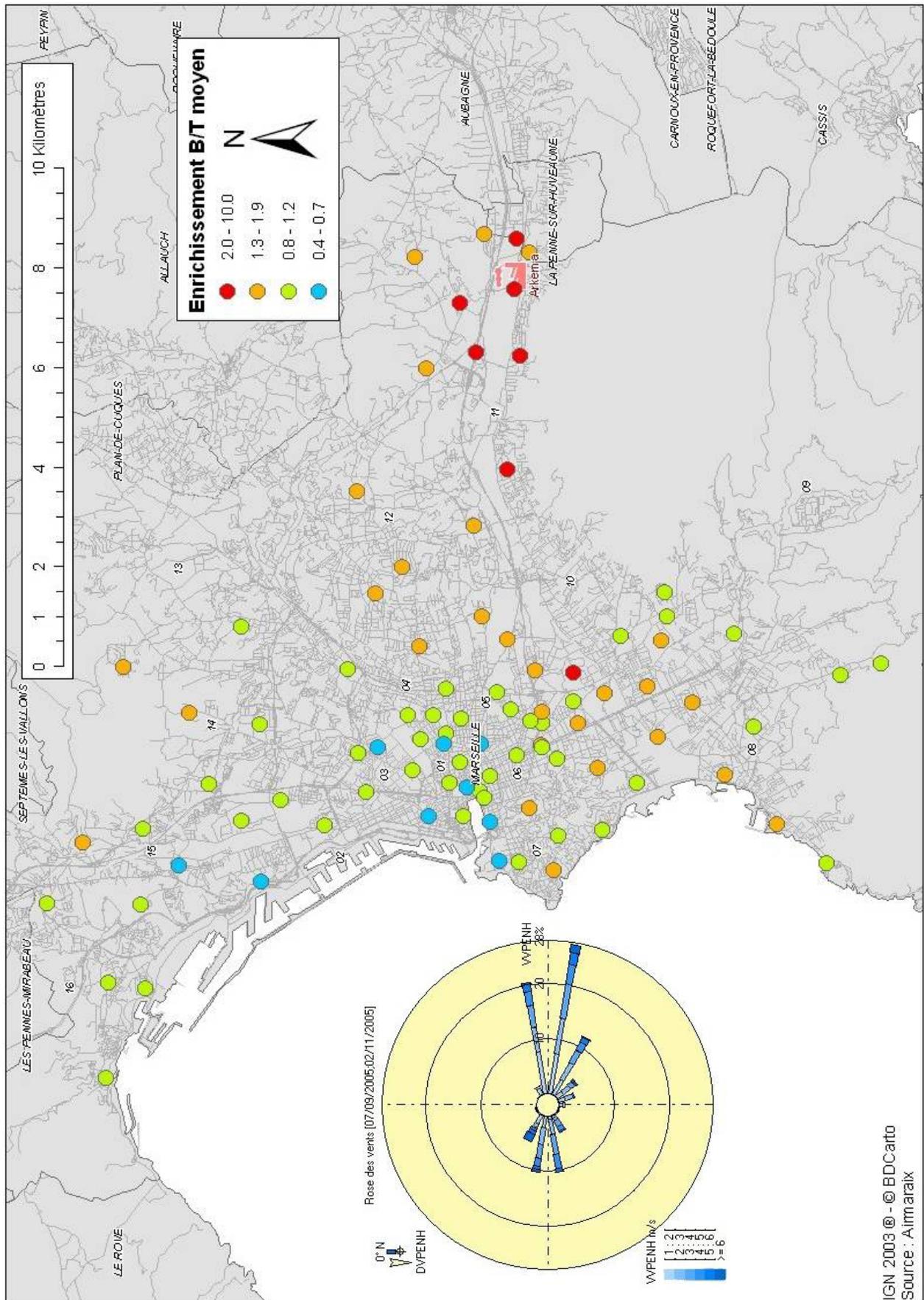


Figure 12 : Enrichissement relatif moyen en benzène évalué pendant la campagne de 2005



3.2.3. ÉVALUATION DE LA MOYENNE ANNUELLE EN FONCTION DU FACTEUR D'ENRICHISSEMENT

RELATION ENTRE LES MOYENNES ANNUELLES, SUR LA CAMPAGNE ET LE FACTEUR D'ENRICHISSEMENT

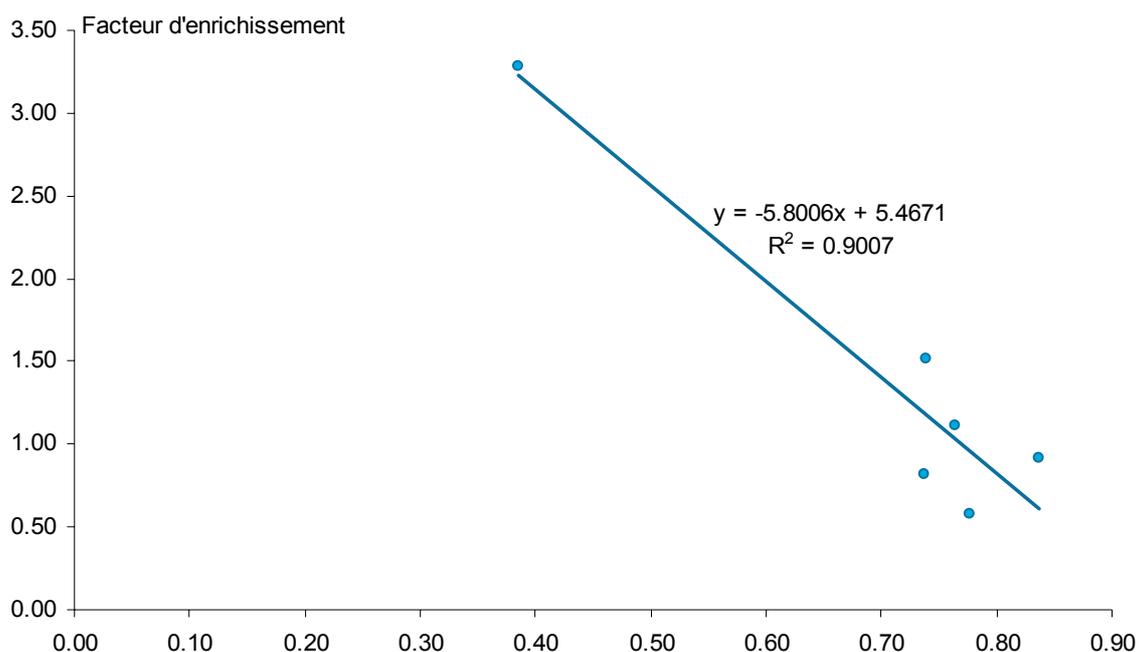
L'écart entre la moyenne annuelle et la moyenne sur la campagne est variable, selon que le site est influencé ou non par les sources présentes dans la vallée de l'Huveaune. Il est donc possible que l'évaluation de la moyenne annuelle puisse être estimée plus précisément qu'avec un simple facteur correctif constant, en prenant en compte le facteur d'enrichissement en benzène. Cette relation peut-être recherchée à partir des 6 points de mesure sur lesquels les niveaux de benzène sont mesurés toute l'année :

Tableau 5 : Niveaux de benzène mesurés sur les stations fixes en 2005

Site de mesure	Moyenne de benzène sur la campagne	Moyenne de benzène en 2005	Rapport Campagne / 2005	Facteur d'enrichissement
Marseille Plombières (trafic)	2.7	3.6	0.74	0.82
Marseille Timone (trafic)	2.8	3.7	0.76	1.11
Marseille Cinq Avenues (urbain)	1.8	2.2	0.84	0.91
Marseille Prado Castellane (urbain)	2.4	3.3	0.74	1.51
Marseille Saint Louis (urbain)	1.2	1.5	0.78	0.58
Vallée de l'Huveaune (périurbain)	3.5	9.2	0.39	3.28

La corrélation entre le rapport Campagne/2005 et le facteur d'enrichissement est :

Figure 13 : Corrélation entre le rapport Campagne / 2005 et le facteur d'enrichissement



$$\text{D'où : } [FE] = -5.8 \frac{[\text{MoyenneCampagne}]}{[\text{Moyenne2005}]} + 5.5$$

Ainsi, la moyenne annuelle en benzène peut-être estimée par la relation suivante :

$$[\text{Moyenne2005}] = \frac{5.8[\text{MoyenneCampagne}]}{5.5 - [FE]}$$

Sur les 6 points de mesure permanents, l'écart-type entre la moyenne 2005 mesurée et la moyenne 2005 calculée à partir de l'équation ci-dessus est de 0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

COMPARAISON ENTRE LA CORRECTION EN FONCTION DU FACTEUR D'ENRICHISSEMENT ET LA CORRECTION PAR UN FACTEUR CONSTANT

Sur les points de mesure sur lesquels le benzène n'est pas mesuré toute l'année, l'écart entre les moyennes annuelles réelles et celles calculées grâce au facteur d'enrichissement est plus difficile à estimer.

La méthode habituelle pour estimer une moyenne annuelle à partir de données d'une campagne temporaire donne des résultats satisfaisants sur les sites influencés uniquement par les transports, au regard des critères européens de qualité de la donnée pour une campagne temporaire (écart-type entre la moyenne mesurée et la moyenne corrigée sur les 5 sites permanents hors Vallée de l'Huveaune : $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Par contre, sur les points influencés par le benzène de la vallée de l'Huveaune cette méthode d'estimation s'avère trop imprécise (cf. page 10).

Cependant, il est possible de comparer les résultats de ces deux méthodes pour les points où le facteur d'enrichissement est compris entre 0.8 et 1.2 (points principalement influencés par le trafic). Pour ces 56 points, l'écart-type entre les deux méthodes est de $0.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec des différences comprises entre -0.19 et $0.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit des résultats très proches.

On peut ainsi dire que la méthode d'estimation de la moyenne annuelle en fonction du facteur d'enrichissement :

- est comparable à la correction par un facteur constant sur les 56 points non influencés par le benzène issu de la vallée de l'Huveaune (écart-type entre les résultats des deux méthodes : $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- est plus juste que la correction par un facteur constant pour au moins un point influencé (moyenne annuelle sur la Vallée de l'Huveaune : mesure, $9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$; correction en fonction du facteur d'enrichissement, $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; correction par un facteur constant : $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La méthode proposée utilisant le facteur d'enrichissement permet de réaliser une meilleure estimation dans la vallée de l'Huveaune.

La moyenne mesurée durant la campagne de 2005 et l'estimation de la moyenne annuelle 2005 pour chaque point de mesure figurent dans le Tableau 6, page 16.

La carte représentant la moyenne annuelle estimée pour 2005 est présentée Figure 14, page 17.

NIVEAUX DE BENZÈNE PAR RAPPORT AUX NORMES

L'objectif de qualité annuel ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est dépassé sur la quasi-totalité des sites urbains et trafic. Cette valeur est également atteinte sur les sites périurbains de la vallée de l'Huveaune.

Concernant la valeur limite pour la protection de la santé humaine ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2005), elle est respectée sur l'ensemble des sites urbains et trafic majoritairement influencés par le trafic. Dans la vallée de l'Huveaune, elle est approchée sur le site permanent à l'est de l'usine Arkema. La moyenne annuelle 2005 estimée dépasse la valeur limite sur le site le plus proche de l'usine (point 122) et sur le point 117 (à 3,5 km à l'ouest de l'usine) et approche cette valeur sur les sites les plus proches à l'ouest.

Cette valeur limite va être progressivement abaissée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ici 2010.

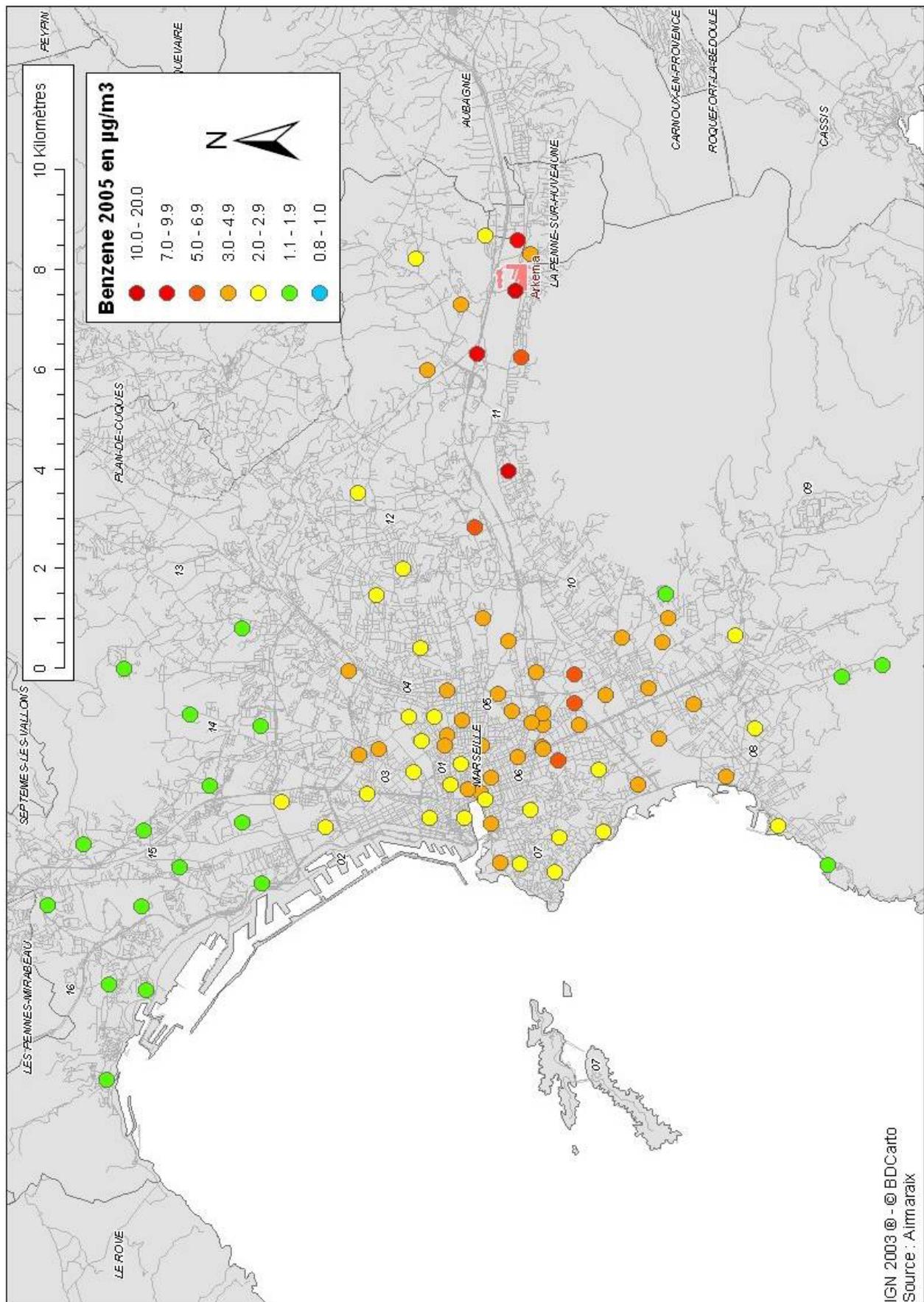
Tableau 6 : valeurs de benzène mesurées durant la campagne et moyennes annuelles 2005 estimées

N°	Site	Benzène	
		Moyenne Campagne	Moyenne 2005 estimée
0	Opéra	2.4	3.1
3	38 bd Central	1.1	1.4
5	Bd Falcot	1.0	1.3
6	Imp. de la Genestelle	1.0	1.2
7	67 tr des Laitiers	1.1	1.4
9	29 rue Isoard	1.9	2.5
10	Bibliothèque Alcazar	1.7	2.2
11	Pl Bernard Cadenat	2.7	3.4
12	Rue Cade	1.1	1.5
13	Site Plombières (trafic)	2.7	3.6*
15	Tr de la Maison Blanche	1.6	2.0
16	8 rue Cougit	1.7	2.1
17	26 rue Charles Tellier	1.1	1.3
18	Ch. de la Madrague de la Ville	1.4	1.7
19	Collège rue Chape	2.4	3.0
23	5 allée des Lauriers	1.6	2.2
25	Conseil Général	2.5	3.1
27	30-32 rue des Mousses	2.6	3.5
28	14b imp. des Peupliers	2.8	3.8
29	Rue Auguste Marin	1.8	2.8
30	448 ch. du Roucas blanc	2.0	2.5
31	Parc du 26 ^e Centenaire	3.0	4.0
32	Notre Dame de la Garde	1.8	2.6
33	Tr Chanot	2.0	2.6
34	8 ch. du Pont	1.5	2.2
35	35 rue du Berceau	2.7	3.4
37	Rue du Plateau	2.2	2.9
38	Bd du 7 ^e Tirailleurs Algériens	0.9	1.3
39	9 rue Pierre Lalou	2.4	2.9
40	Site Thiers Noailles (urbain)	1.9	2.4
41	Rue Papety	2.6	3.2
42	Site S ^{te} Marguerite (urbain)	2.1	3.0
46	52 bd des Aciéries	3.1	5.3
47	Ch. Saint-Jean-du-Désert	2.2	3.1
48	Station Timone (trafic)	2.8	3.7*
50	Résidence le Belvédère	2.7	3.8
51	rue des Moysotis	3.2	5.2
52	3 rue Copello	1.0	1.4
53	Bd du Trident	1.6	2.2
54	54 bd Joachim-Elie Vézien	2.3	3.4
55	17 bd Michel Fronti	2.7	3.9
56	Av Alexandre Dumas	3.3	4.6
57	Imp. Pourrière	1.5	2.0
58	Camion Labo. La Cayolle	1.0	1.2
59	22 bd Vaucanson	1.2	1.4
60	109 tr de la Gouffonne	1.5	1.9
64	Station Paradis (trafic)	4.6	5.6
65	38 bd de S ^{te} Marguerite	3.1	4.0

N°	Site	Benzène	
		Moyenne Campagne	Moyenne 2005 estimée
66	172 bd de la Libération	1.9	2.5
67	Rue Terrusse	2.3	2.9
68	9 rue Sakakini	3.6	4.5
70	Site Cinq Avenues (urbain)	1.8	2.2*
73	44 ch. du Mozambique	1.1	1.4
74	Bd Jacques Cassone	1.2	1.6
75	29 bd Falaise	1.4	1.8
78	21 rue de la Loge	2.2	2.8
79	Crs H. d'Estienne d'Orves	2.2	2.9
80	70 Rue d'Italie	3.2	4.1
82	Pl Félix Baret	3.2	4.0
85	26 rue Barthélemy	3.8	4.8
86	Rue Chantal Rabutin	2.7	4.1
87	Allée Ray Grassi	2.5	3.8
88	Rue du Plan Fourmiguier	2.7	3.3
89	17 av Benjamin Delessert	3.3	4.7
90	Site Rabatau (trafic)	3.7	5.0
91	Site Prado (urbain)	2.4	3.3*
93	50 av de Saint Barnabé	2.1	2.8
95	17 bd Gustave Desplaces	1.7	2.1
96	5 rue Malaval	2.2	2.5
97	40 bd de la Libération	4.1	4.9
99	26 La Canebière	3.8	4.6
101	Entrée tunnel Prado Carénage	2.8	3.8
102	40 rue Félix Pyat	2.2	2.7
103	Av de la Campagne Berger	1.3	1.7
104	67 av du Prado	3.5	4.5
107	13 av de Kallisté	2.0	2.8
109	28 tr du Maroc	1.5	2.1
111	55 tr Charles Susini	1.3	1.7
114	49 rue de Lissandre	1.2	1.7
115	231 clos de la Serisse	1.9	2.5
116	Rue de la Bourgade	2.1	3.0
117	Av de l'Abbé Lafranchi	4.0	10.2
118	Ch des Restanques - La Penne s/Huv	1.9	2.9
119	Site Saint Louis (urbain)	1.2	1.5*
120	Site temp. Menpenti (urbain)	3.0	4.0
121	209 tr Pierre Abondance	1.8	2.4
122	Usine Arkema	5.5	17.9
123	Bd Julien Rancurel	2.8	5.2
124	A 51 // av St Menet	4.7	8.8
125	Ch. de S ^t Menet aux Accates	2.3	4.2
126	Imp. des Etoiles	0.8	1.1
127	Site Vallée de l'Huveaune (périurbain)	3.5	9.2*

* Moyennes annuelles mesurées et non estimées

Figure 14 : Moyenne annuelle 2005 estimée en fonction du facteur d'enrichissement



3.2.4. ENRICHISSEMENT EN BENZÈNE EN FONCTION DU VENT

Les conditions de vent ont varié significativement durant la campagne de mesure de 2005. Les tournées de mesures par tubes ont pu être associées à des régimes de vent relativement différents, basés sur les observations météorologiques réalisées sur la station de la Vallée de l'Huveaune (vents canalisés par la vallée, d'orientation principale est ou ouest). Les résultats de chaque tournée sont présentés de la Figure 15, page 19 à la Figure 18, page 22.

T1 : VENTS MODÉRÉS, RÉGIME VARIABLE AVEC ALTERNANCE DE BRISÉS D'EST ET D'OUEST

Les facteurs d'enrichissement calculés sur cette tournée sont proches des facteurs d'enrichissement observés sur l'ensemble de la campagne. Les points situés directement autour du complexe industriel ont un facteur d'enrichissement supérieur à 2. Les points prolongeant la vallée de l'Huveaune vers l'ouest ont majoritairement un facteur d'enrichissement en benzène supérieur à la normale.

T2 : VENTS FORTS, D'OUEST MAJORITAIRES

Le vent d'ouest pousse la pollution vers l'est, empêchant l'écoulement de la vallée vers Marseille. Les points à proximité directe du complexe industriel ont un facteur d'enrichissement supérieur à 2, ou proche de 2. L'extension vers l'ouest observée durant la première tournée est moins marquée.

T3 : VENTS MODÉRÉS, D'EST MAJORITAIRES

Le vent pousse la pollution depuis la vallée de l'Huveaune vers Marseille et la côte ouest.

Le facteur d'enrichissement des points à l'est du complexe industriel retombe à des niveaux conformes à ceux observés sur des sites périurbains principalement influencés par les transports. L'effet de panache observé à l'ouest de la vallée est à nouveau observable, avec des facteurs d'enrichissement nets, traduisant une plus forte influence du ou des sources autres que le trafic dans ce secteur.

T4 : VENTS RELATIVEMENT FAIBLES, D'EST MAJORITAIRES

La pollution est encore déplacée vers l'ouest, depuis la vallée de l'Huveaune vers Marseille. Les vents, plus faibles que durant la tournée précédente, permettent une accumulation du benzène proche de la zone industrielle.

La situation est similaire à celle de la tournée précédente.

APPORT DE L'ANALYSE DES FACTEURS D'ENRICHISSEMENT EN BENZÈNE EN FONCTION DU VENT

Les quatre tournées de mesure de la campagne de 2005 ont été l'occasion de mesurer les niveaux de BTX sous des régimes de vent très différents. La comparaison des facteurs d'enrichissement par tournée confirme l'hypothèse de sources importantes de benzène non liées aux transports dans la vallée de l'Huveaune.

- L'apport de benzène par d'autres sources que les transports est visible sur Marseille par vent d'est ou variable, mais pas par vent d'ouest.
- Dans les cas où cet apport de benzène est visible sur Marseille (vent d'est ou variable), seule la partie de Marseille située dans le prolongement de la vallée de l'Huveaune, jusqu'à la côte, est touchée.

Une des sources probables est constituée par l'usine Arkema à l'Est du domaine d'étude dont les émissions déclarées sont de 68 tonnes en 2003, 58.7 tonnes en 2004, 54 tonnes en 2005 (État de l'Environnement Industriel Provence Alpes Côte d'Azur – Edition 2004, 2005 et 2006). Les teneurs les plus élevées de benzène sont notamment mesurées dans l'environnement proche de cette usine.

Cette analyse devrait être étayée par des points de mesure à l'Est, ainsi qu'au nord et au sud de la Vallée.

Figure 15 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T1

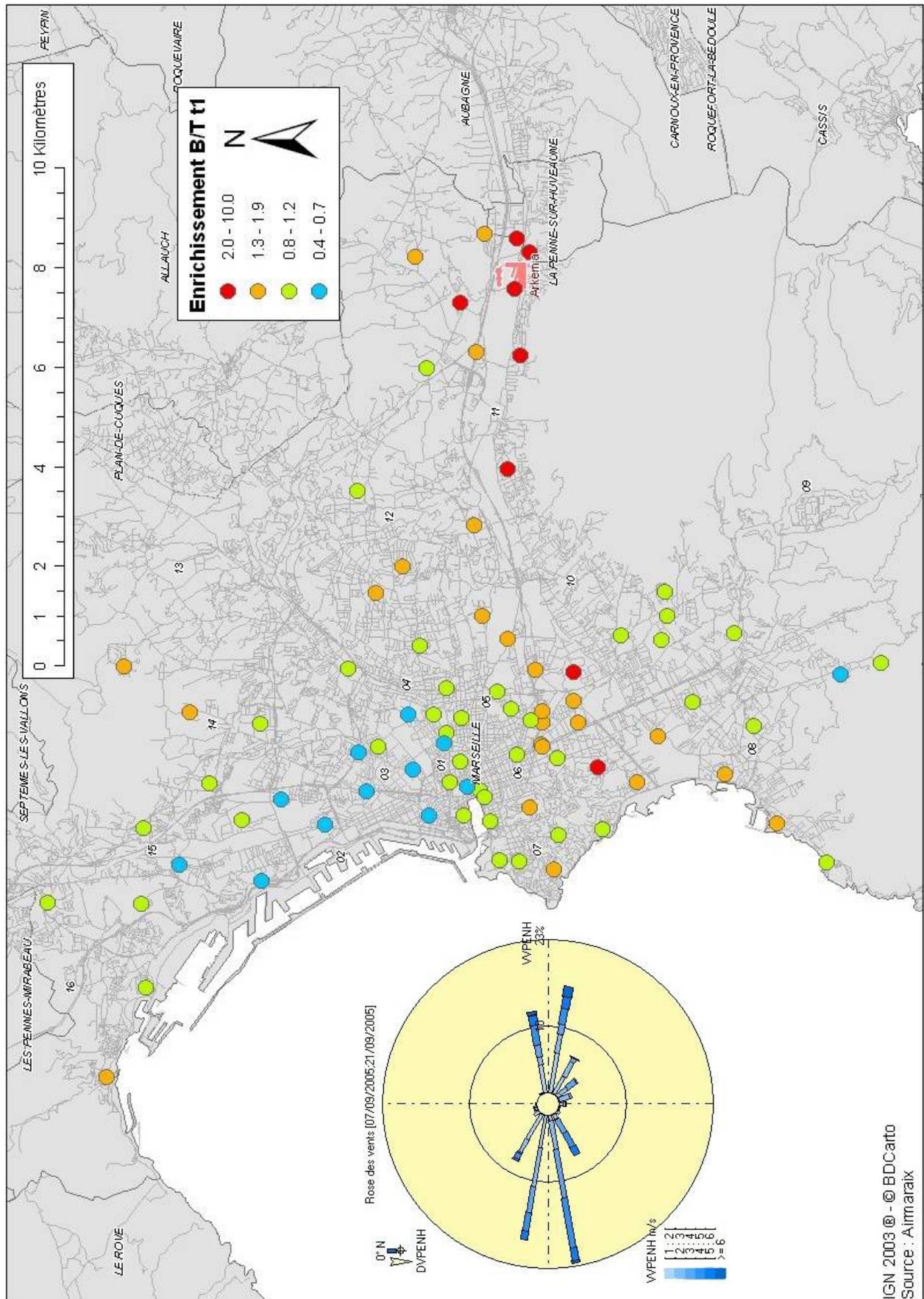


Figure 16 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T2

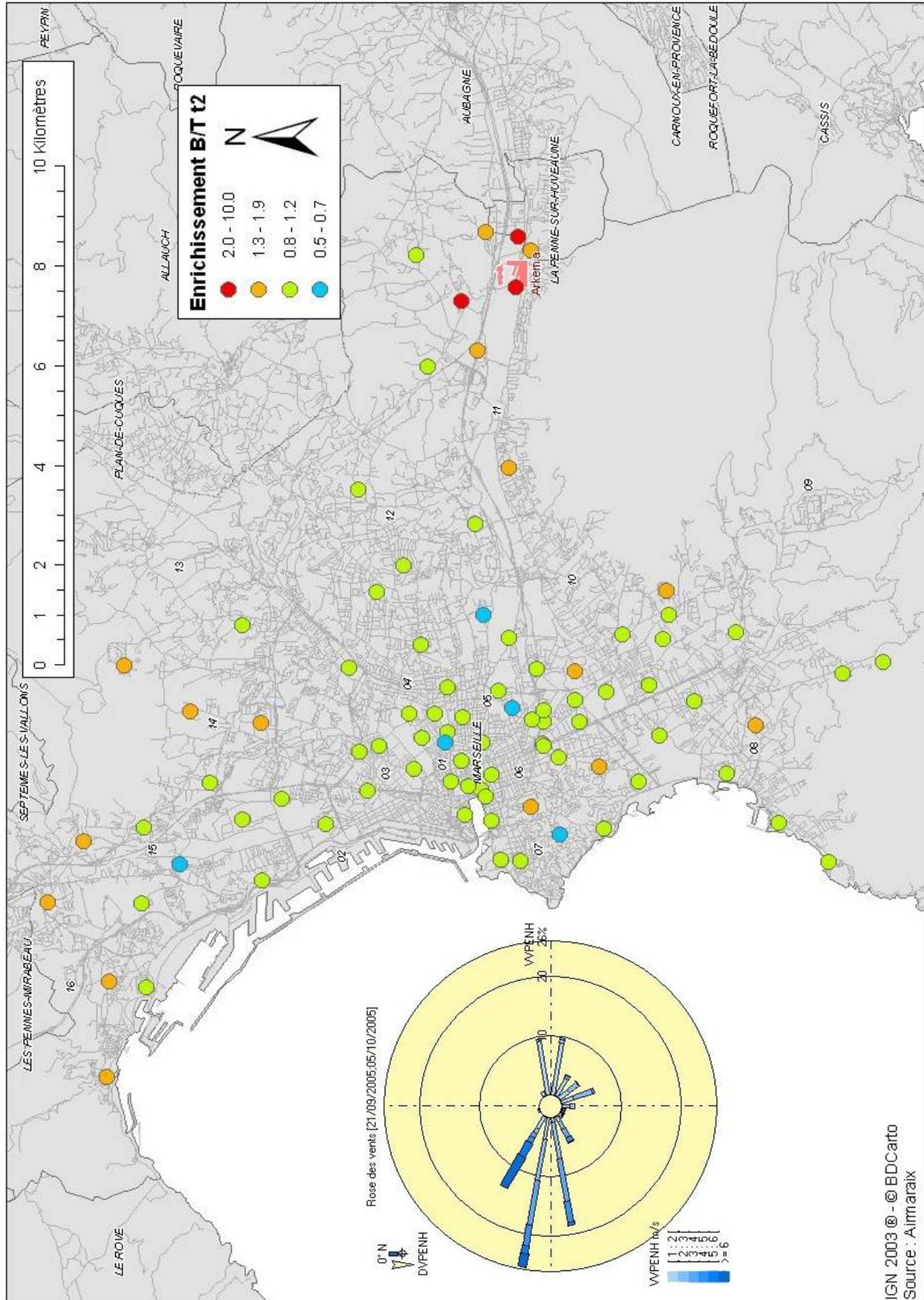


Figure 17 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T3

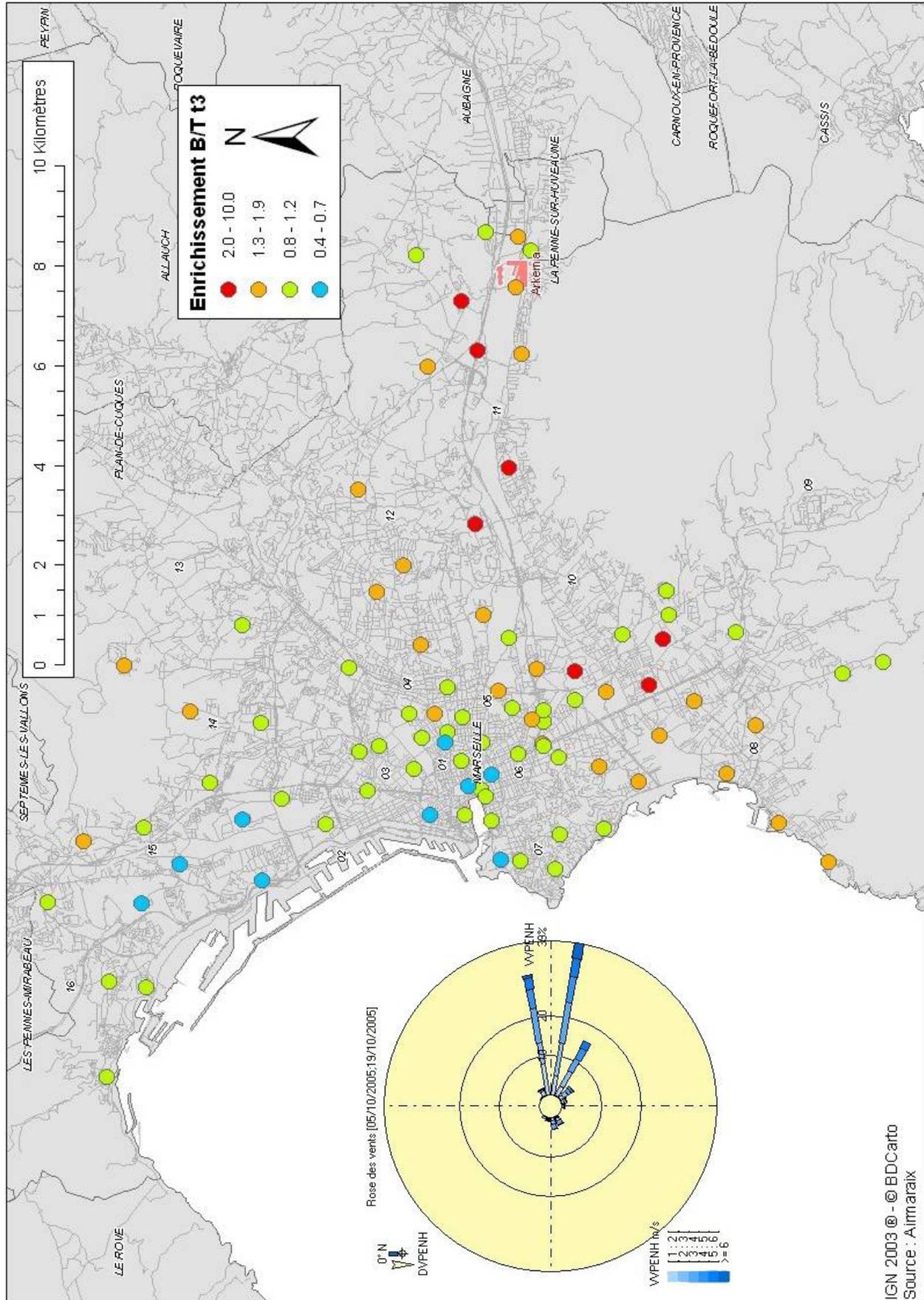
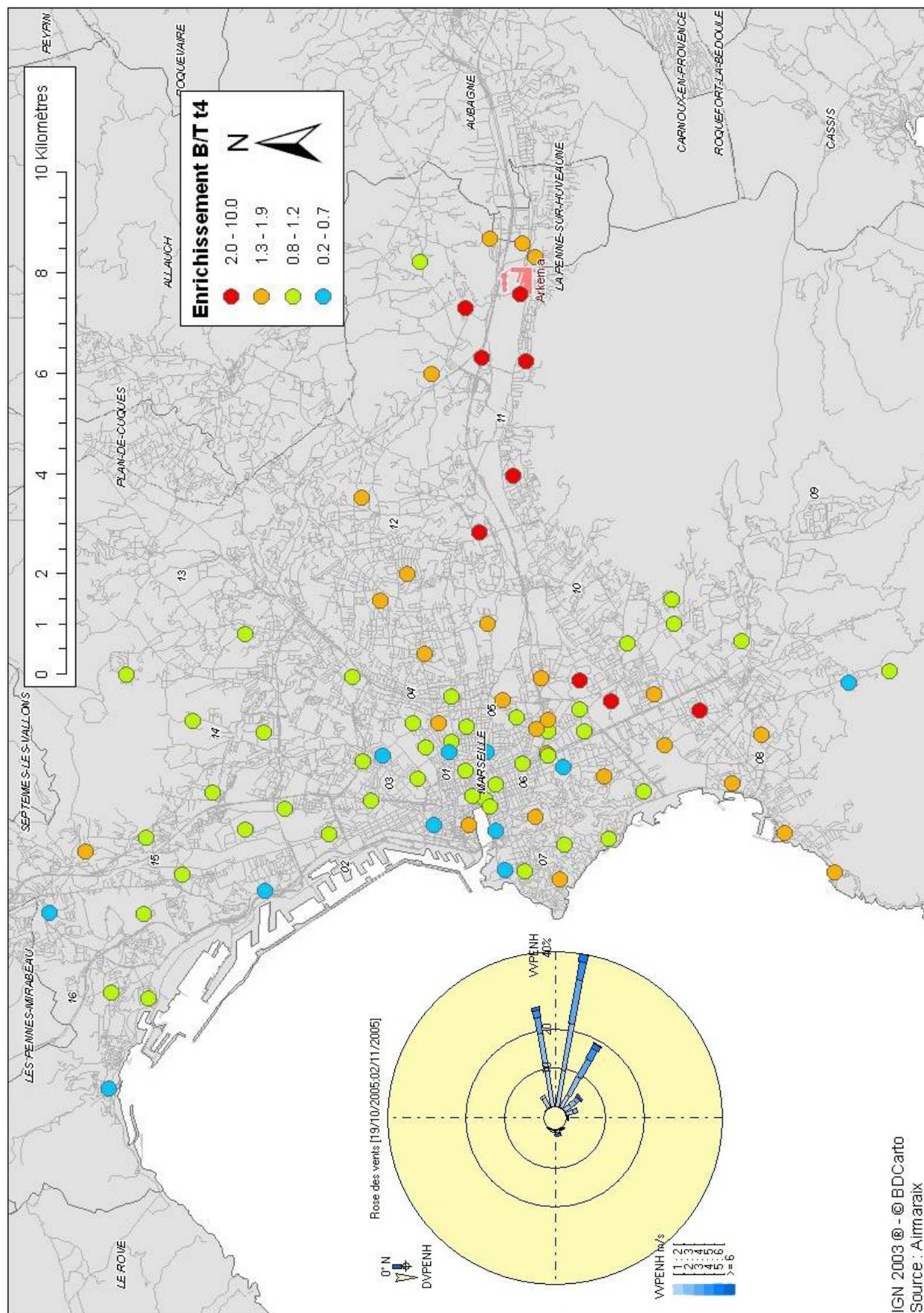


Figure 18 : Enrichissement relatif en benzène évalué pendant la campagne de 2005 – T4



3.3. APPORT DES CAMPAGNES DE MESURE ANTÉRIEURES POUR LA CARTOGRAPHIE

Plusieurs campagnes de mesures incluant les BTX mais ne concernant pas la vallée de l'Huveaune ont été réalisées sur Marseille ces dernières années :

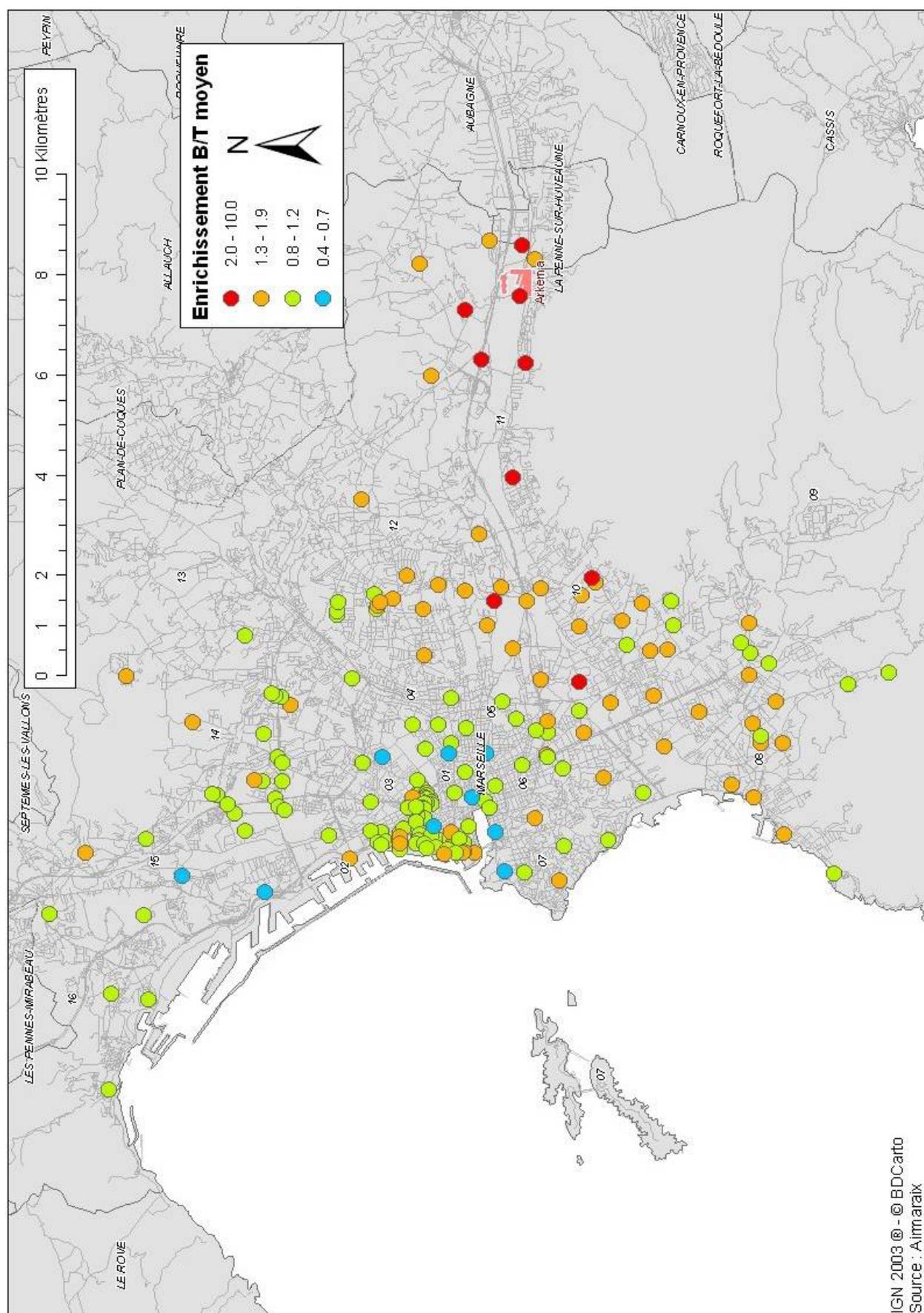
- La liaison L2 en 2001, entre l'autoroute nord et l'autoroute est.
- L'axe Littoral en 2003, au début de l'autoroute du littoral
- Saint Charles en 2003, autour de la gare Saint Charles
- Le Boulevard Urbain Sud en 2005, entre l'autoroute est et le sud de Marseille

Les données issues de ces campagnes peuvent être traitées de la même manière que la campagne de mesure de 2005. Dans ce cas, le ratio benzène/toluène de référence (représentatif des émissions par les transports) est calculé indépendamment pour chaque campagne à partir des points de mesure permanents et des points situés hors de la zone d'influence identifiée par la campagne de 2005.

Les données issues de ces campagnes confirment l'analyse des données de 2005, tout en élargissant la zone couverte en périphérie de Marseille (cf. Figure 19, page 24).



Figure 19 : Enrichissement relatif en benzène évalué sur les différentes campagnes de mesure



4. CORRÉLATION DU BENZÈNE AVEC LES AUTRES COV

Jusqu'en septembre 2003, le site de Marseille Prado était équipé d'un chromatographe on-line, de mesure de 53 COV différents avec un pas de temps horaire. En examinant le facteur B/T, on constate un enrichissement en benzène (cf. page 11) lié à des sources autres que le trafic ($FE_{Prado} : 1.5$). L'étude des données de ce site peut donc enrichir les informations sur l'impact de la source de benzène de la vallée de l'Huveaune.

La période commune au fonctionnement du chromatographe et à la mesure permanente par tubes à diffusion court du 26/05/03 au 08/09/03. C'est donc sur cette période que seront exploitées les données.

4.1. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LA PÉRIODE DE MESURE

Tableau 7 : Données de COV et de NO_x du 26/05/03 au 08/09/03

Moyennes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	St Louis	Plombières	Timone	P/Huveaune	Ste Marguerite	Prado*	Prado*
	urbain	trafic	trafic	Périurbain	urbain	urbain	(chromato.) urbain
Benzène (moyenne)	1.5	4.0	3.8	6.6	2.6	3.4	4.7
Toluène (moyenne)	8.0	23.3	14.9	6.8	8.0	9.9	12.0
Rapport B/T	19%	17%	26%	96%	32%	34%	40%
Facteur d'enrich.	0.8	0.8	1.2	4.4	1.5	1.5	1.8
NO_x (moyenne)	41	138	55	26	25		35
Acétylène (moyenne)	/	/	/	/	/	/	0.6
Cyclohexane (moyenne)	/	/	/	/	/	/	3.2

* Les deux mesures effectuées au Prado diffèrent pour deux raisons : d'une part, les mesures par tubes ont tendance à sous estimer les concentrations de benzène lorsqu'ils sont utilisés pendant 14 jours (ce qui est le cas ici) ; D'autre part, le chromatographe a connu plusieurs problèmes techniques qui ont limité son fonctionnement : il n'a fonctionné que 72% du temps sur la période considérée.

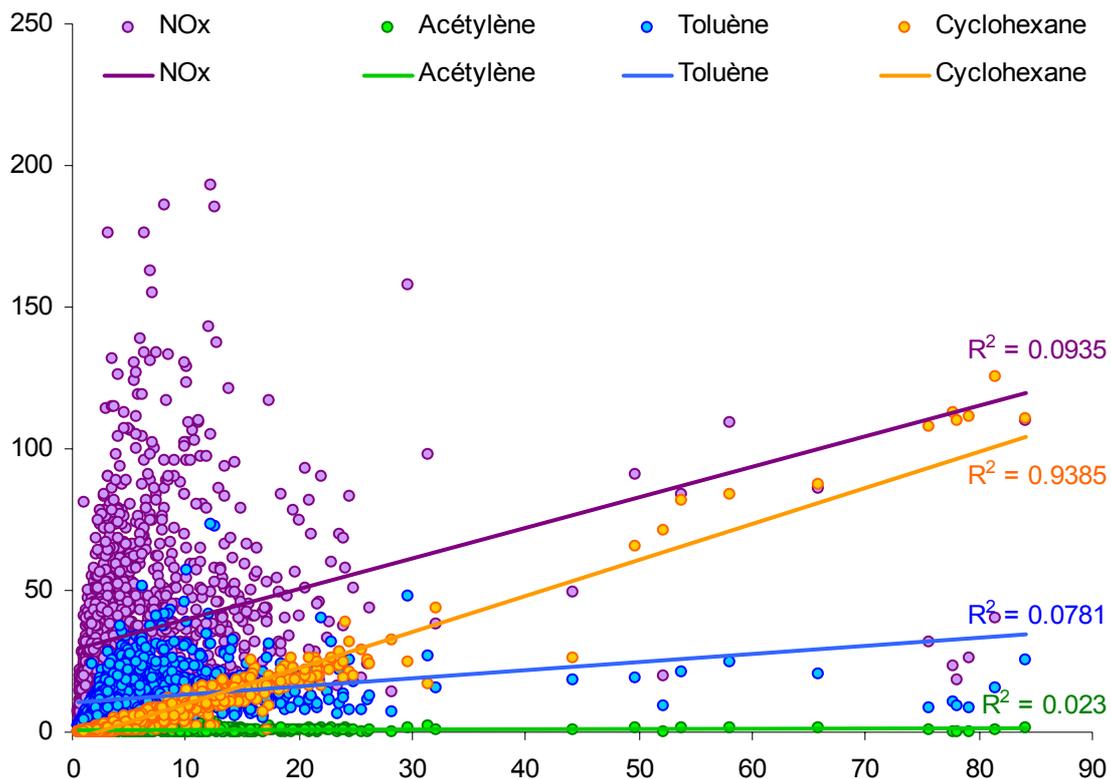
Le facteur d'enrichissement calculé sur la période montre que le site du Prado est soumis à une influence similaire à celle rencontrée sur les sites de la campagne de 2005. La comparaison des données horaires de benzène avec les autres polluants apporte une information complémentaire sur l'origine du benzène sur ce site.

4.2. CORRÉLATION DES NIVEAUX DE BENZÈNE AVEC D'AUTRES TRACEURS

Parmi les polluants mesurés sur le site du Prado à cette période, les suivants ont été retenus pour leur représentativité :

- NO_x, Toluène, Acétylène : traceurs spécifiques de la pollution automobile
- Cyclohexane : composé d'origine industrielle fréquemment observé avec le benzène sur le site du Prado

Figure 20 : Corrélation du benzène avec d'autres polluants sur le site du Prado du 26/05/03 au 08/09/03

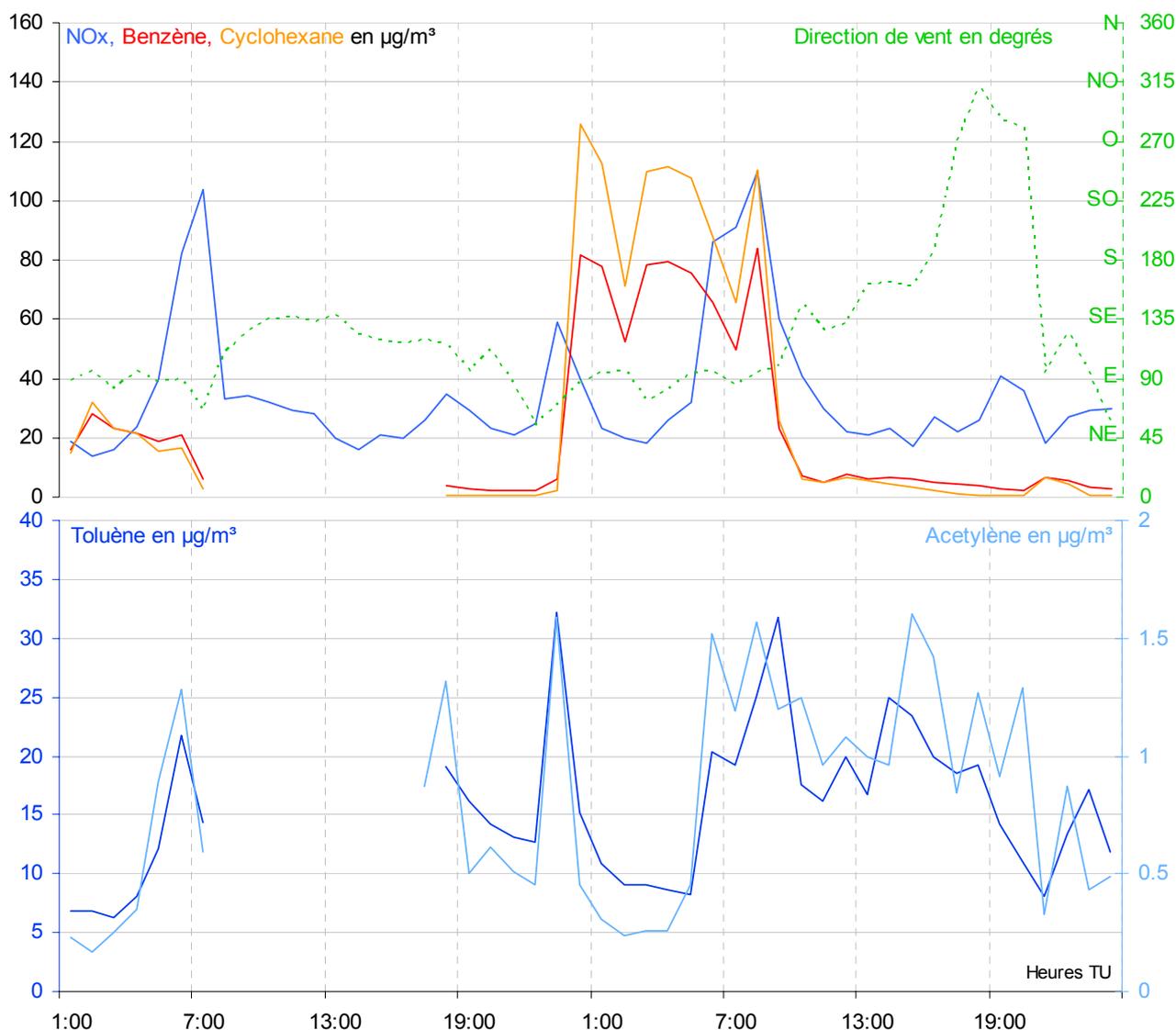


La corrélation des niveaux de benzène avec les autres polluants automobiles est non significative (Coefficient de corrélation R maximum : 0.31 avec les NO_x). A l'inverse, la corrélation avec le cyclohexane, est forte ($R = 0.97$), ce qui suggère une influence sur le site du Prado d'une source industrielle émettant à la fois du benzène et du cyclohexane.

4.3. ÉTUDE D'UNE POINTE DE BENZÈNE CARACTÉRISTIQUE : LES 4 ET 5 JUIN 2003

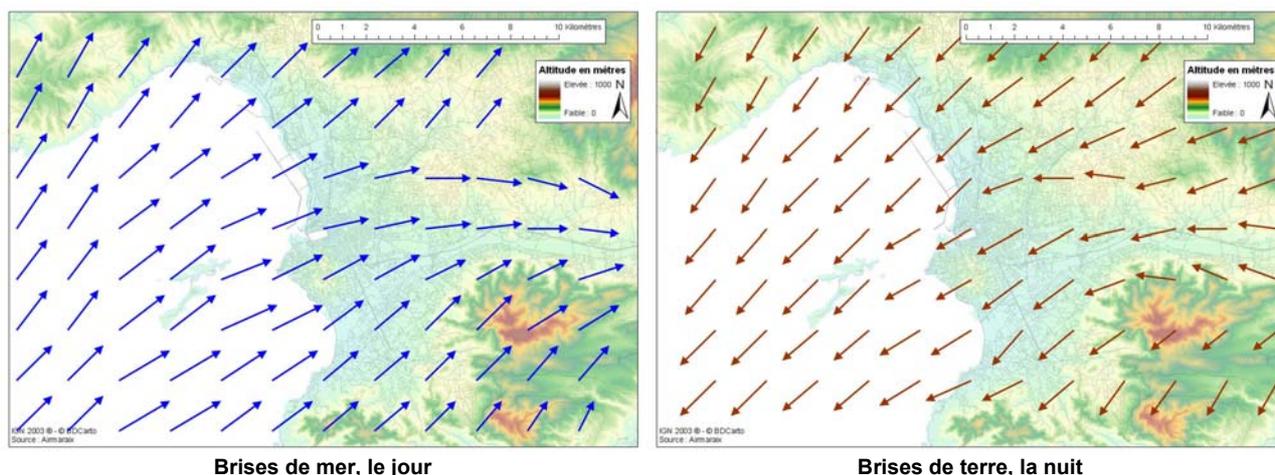
Une étude plus précise de l'évolution de ce composé au cours de la journée fait ressortir des pics ponctuels fortement corrélés au cyclohexane. On note également que ces phénomènes apparaissent par vent d'est et avec une vitesse de vent relativement faible ou modérée.

Figure 21 : Lien entre le benzène et les autres composés mesurés sur ce site. Ex. : les 4 et 5 juin 2003



La variation très rapide des niveaux indique soit une source d'émission intermittente, soit le changement d'orientation du vent qui induirait l'influence d'une source ponctuelle dans certaines conditions météorologiques. Cette deuxième hypothèse est la plus probable. L'évolution de la situation météorologique pendant la nuit du 4 au 5 juin montre le passage d'un régime de sud relativement soutenu à un régime de brise de terre (vent faible et structuration verticale de l'atmosphère – cf. Figure 22, page 28).

Figure 22 : Exemples types de brises de mer et de brises de terre, canalisées par la vallée de l'Huveaune



Brises de mer, le jour

Brises de terre, la nuit

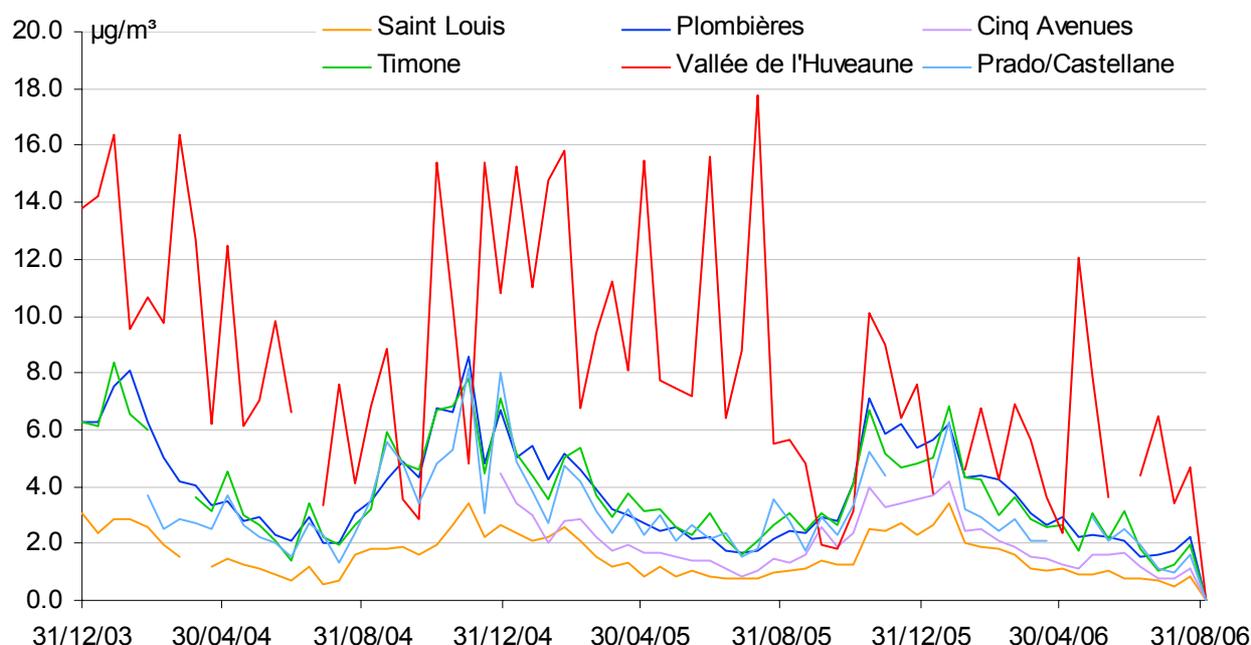
Les divers épisodes de benzène étudiés sur Prado – Castellane indiquent tous une situation météorologique nocturne comparable (plage horaire : entre 00h et 8h). Cette observation converge avec l'analyse des différentes tournées de mesures de la campagne de 2005 (cf. page 7) : elle indique que la source des pointes de cyclohexane/benzène pourrait être liée à l'extension ouest du phénomène et en particulier le lien possible avec des composés émis dans la vallée de l'Huveaune.

Le point de mesure du Prado est situé à une distance d'environ 10 kilomètres de la zone où les concentrations de benzène et les facteurs d'enrichissement sont les plus importants.

Afin d'affiner cette analyse, une étude plus poussée des espèces accompagnant le benzène issu de la vallée de l'Huveaune pourrait être effectuée sur un point plus proche des sources supposées.

4.4. ÉVOLUTION DES DONNÉES DE BENZÈNE DEPUIS LA CAMPAGNE

Figure 23 : Evolution des niveaux de benzène sur les sites de mesure fixes de Marseille de 2003 à 2006



Depuis la fin de l'année 2005, les niveaux de benzène observés sur le site de la Vallée de l'Huveaune ont enregistré une baisse notable. Les concentrations restent cependant supérieures à celles observées sur les autres sites de l'agglomération.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les mesures réalisées depuis 2000 confirment l'existence de teneurs en benzène remarquables dans la vallée de l'Huveaune et dans l'est de la ville de Marseille couvrant un bassin de population conséquent.

La campagne de mesure 2005 réalisée sur toute la ville montre bien cette singularité de l'est de l'agglomération, ainsi que l'extension géographique du phénomène (une dizaine de kilomètres). Une analyse spécifique des données a été menée dans ce secteur (étude du rapport benzène sur toluène, facteur d'enrichissement relatif) pour contribuer à l'identification des types de sources à l'origine de ces concentrations, notamment dans l'objectif de distinguer la contribution trafic, d'autres sources de nature industrielle.

La campagne 2005 a eu lieu durant une période à la météo favorisant la dispersion des polluants. Cependant, une estimation de la moyenne annuelle 2005 a pu être calculée pour chaque point de mesure.

Les teneurs annuelles de benzène estimées pour l'année 2005 sont supérieures à l'objectif de qualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$) sur la totalité des points échantillonnés dans la vallée de l'Huveaune, y compris en situation périurbaine sur lesquelles des concentrations plus faibles étaient attendues (concentrations généralement inférieures à l'objectif de qualité, observées au nord et au sud de la ville).

Les teneurs annuelles de benzène estimées pour l'année 2005 approchent la valeur limite annuelle 2005 pour la protection de la santé humaine pour le benzène ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$) sur six points dans un périmètre de 5 km environ et dépassent ce seuil sur le site le plus proche de l'usine Arkema et sur un site situé à 3,5 km de l'usine, traduisant sans doute l'influence de sources significatives. La valeur limite diminue progressivement de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par an jusqu'en 2010 pour atteindre $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à cette échéance. En 2006, elle est de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'étude des quatre périodes de mesure de 14 jours effectuées en 2005 montre l'influence des paramètres météorologiques sur les niveaux de benzène, la variation des périmètres concernés et le rapport benzène/toluène. Cette analyse permet notamment de préciser la localisation de sources significatives à l'est du domaine d'étude. Cette zone comprend notamment l'entreprise Arkema, dont les estimations d'émissions de benzène sont de 54 tonnes en 2005 (État de l'environnement de la région PACA – Edition 2006).

Une analyse conjointe (Airmaraix et LCSQA) des données de la station automatique de surveillance de 52 COV localisée au Prado a mis en évidence, depuis 2001, des pointes de benzène associées au cyclohexane (marqueur d'une activité de nature industrielle) par flux d'est faible (brises de terre nocturnes). Ces pointes sont compatibles avec l'extension du phénomène observé dans cette étude et une nouvelle campagne de prélèvements des COV par canisters devrait être menée avec l'École des Mines de Douai pour analyser le phénomène de la ville vers la vallée de l'Huveaune.

Afin d'apporter des informations plus précises, un analyseur automatique de BTX est en cours d'installation sur le site permanent Vallée de l'Huveaune qui mesure également l'ozone, les oxydes d'azote et des paramètres météorologiques. Cet analyseur fournira des données horaires, permettant une meilleure compréhension des liens entre les niveaux, les conditions météorologiques et la contribution des sources.

De plus, la méthode de mesure utilisée jusqu'à présent, par tubes à diffusion passive exposés pendant 14 jours, est suspectée par les travaux du LCSQA de 2005 de sous-estimer les valeurs de benzène dans le cas où les concentrations sont élevées. Afin de limiter cette éventuelle sous-estimation, les tubes à diffusion passive sont exposés pendant 7 jours sur le site Vallée de l'Huveaune depuis le 1^{er} janvier 2006. Cette augmentation de fréquence aura également pour avantage de multiplier par deux le nombre de mesures par tubes. Celles-ci seront à comparer avec les mesures de l'analyseur automatique, réduisant ainsi les incertitudes métrologiques.

Enfin, ces travaux devraient être complétés par des mesures supplémentaires, notamment vers l'est de la vallée de l'Huveaune (Aubagne), afin d'évaluer l'étendue de cette pollution.

6. ANNEXES

Figure 24 : Implantation des sites de mesure de la campagne 2005

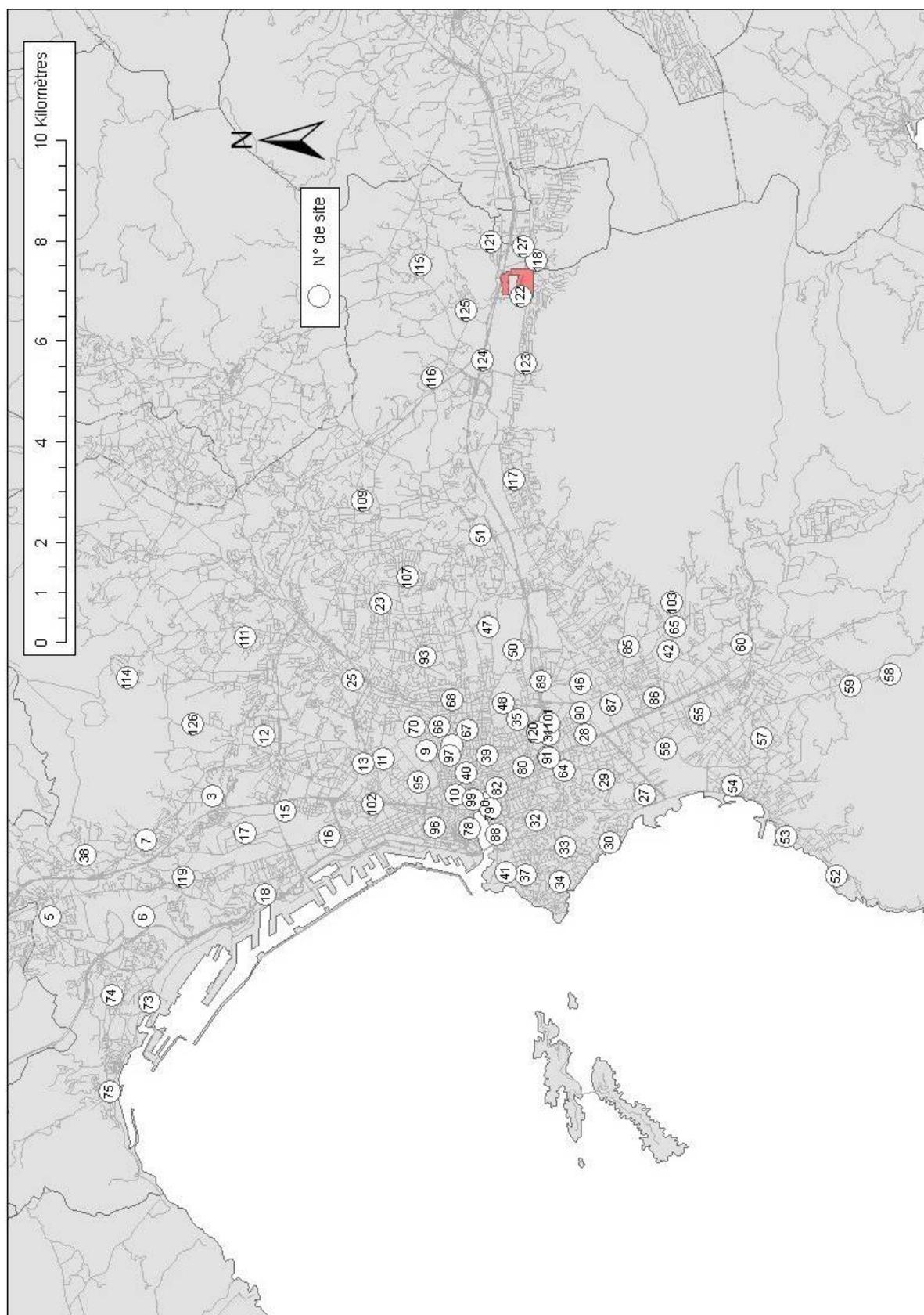


Tableau 8 : Concentrations de benzène et toluène et rapport benzène / toluène relevés pendant la campagne 2005 sur l'agglomération marseillaise

N°	Site	Moyenne (µg/m³)		Rapp B/T	Facteur d'enrichi ^t
		B	T		
0	Opéra	2.4	11.3	22%	0.9
3	38 bd Central	1.1	5.5	21%	0.8
5	Bd Falcot	1.0	4.7	22%	0.9
6	Imp. de la Genestelle	1.0	4.8	21%	0.8
7	67 tr des Laitiers	1.1	5.1	22%	0.9
9	29 rue Isoard	1.9	8.5	23%	0.9
10	Bibliothèque Alcazar	1.7	8.4	21%	0.8
11	PI Bernard Cadenat	2.7	16.0	18%	0.7
12	Rue Cade	1.1	4.2	27%	1.1
13	Site Plombières (trafic)	2.7	13.2	20%	0.8
15	Tr de la Maison Blanche	1.6	8.6	19%	0.8
16	8 rue Cougit	1.7	8.3	21%	0.8
17	26 rue Charles Tellier	1.1	5.6	19%	0.8
18	Ch. de la Madrague de la Ville	1.4	11.1	15%	0.6
19	Collège rue Chape	2.4	10.7	22%	0.9
23	5 allée des Lauriers	1.6	5.1	31%	1.3
25	Conseil Général	2.5	12.2	21%	0.8
27	30-32 rue des Mousses	2.6	9.6	28%	1.1
28	14b imp. des Peupliers	2.8	9.7	30%	1.2
29	Rue Auguste Marin	1.8	4.3	42%	1.7
30	448 ch. du Roucas blanc	2.0	9.0	22%	0.9
31	Parc du 26 ^e Centenaire	3.0	10.6	28%	1.1
32	Notre Dame de la Garde	1.8	5.3	34%	1.4
33	Tr Chanot	2.0	8.7	24%	1.0
34	8 ch. du Pont	1.5	4.5	34%	1.4
35	35 rue du Berceau	2.7	12.1	23%	0.9
37	Rue du Plateau	2.2	9.8	23%	0.9
38	Bd du 7e Tirailleurs Algériens	0.9	2.5	36%	1.4
39	9 rue Pierre Lalou	2.4	13.9	17%	0.7
40	Site Thiers Noailles (urbain)	1.9	8.8	22%	0.9
41	Rue Papety	2.6	15.6	17%	0.7
42	Site S ^{te} Marguerite (urbain)	2.1	6.7	34%	1.4
46	52 bd des Aciéries	3.1	5.7	53%	2.1
47	Ch. Saint-Jean-du-Désert	2.2	7.4	30%	1.2
48	Station Timone (trafic)	2.8	10.7	27%	1.1
50	Résidence le Belvédère	2.7	8.8	32%	1.3
51	rue des Moysotis	3.2	7.1	47%	1.9
52	3 rue Copello	1.0	4.0	27%	1.1
53	Bd du Trident	1.6	4.6	35%	1.4
54	54 bd Joachim-Elie Vézien	2.3	6.2	38%	1.5
55	17 bd Michel Fronti	2.7	8.0	36%	1.5
56	Av Alexandre Dumas	3.3	9.9	34%	1.4
57	Imp. Pourrière	1.5	5.7	27%	1.1
58	Camion Labo. La Cayolle	1.0	4.4	22%	0.9
59	22 bd Vaucanson	1.2	5.9	19%	0.8
60	109 tr de la Gouffonne	1.5	6.7	23%	0.9
64	Station Paradis (trafic)	4.6	25.2	19%	0.8
65	38 bd de S ^{te} Marguerite	3.1	13.8	23%	0.9
66	172 bd de la Libération	1.9	7.0	28%	1.1
67	Rue Terrusse	2.3	9.8	23%	0.9
68	9 rue Sakakini	3.6	17.9	20%	0.8
70	Site Cinq Avenues (urbain)	1.8	8.2	22%	0.9
73	44 ch. du Mozambique	1.1	4.8	23%	0.9
74	Bd Jacques Cassone	1.2	5.1	24%	1.0
75	29 bd Falaise	1.4	6.8	23%	1.0
78	21 rue de la Loge	2.2	8.9	26%	1.1
79	Crs H. d'Estienne d'Orves	2.2	9.8	23%	0.9
80	70 Rue d'Italie	3.2	15.2	21%	0.9
82	PI Félix Baret	3.2	16.8	19%	0.8
85	26 rue Barthélemy	3.8	17.2	22%	0.9
86	Rue Chantal Rabutin	2.7	7.0	40%	1.6
87	Allée Ray Grassi	2.5	6.7	40%	1.6
88	Rue du Plan Fourmiguier	2.7	16.3	18%	0.7
89	17 av Benjamin Delessert	3.3	9.7	34%	1.4
90	Site Rabatau (trafic)	3.7	13.7	28%	1.1
91	Site Prado (urbain)	2.4	6.7	37%	1.5
93	50 av de Saint Barnabé	2.1	7.3	29%	1.2
95	17 bd Gustave Desplaces	1.7	8.1	22%	0.9
96	5 rue Malaval	2.2	20.5	11%	0.4
97	40 bd de la Libération	4.1	30.3	14%	0.6
99	26 La Canebière	3.8	21.3	18%	0.7
101	Entrée tunnel Prado Carénage	2.8	9.3	30%	1.2
102	40 rue Félix Pyat	2.2	11.3	19%	0.8
103	Av de la Campagne Berger	1.3	5.5	25%	1.0
104	67 av du Prado	3.5	14.8	24%	1.0
107	13 av de Kallisté	2.0	5.6	35%	1.4
109	28 tr du Maroc	1.5	4.9	31%	1.2
111	55 tr Charles Susini	1.3	5.5	24%	1.0
114	49 rue de Lissandre	1.2	3.6	34%	1.4
115	231 clos de la Serisse	1.9	6.4	29%	1.2
116	Rue de la Bourgade	2.1	6.5	33%	1.3
117	Av de l'Abbé Lafranchi	4.0	5.2	79%	3.2
118	Ch des Restanques - La Penne s/Huv	1.9	4.6	41%	1.7
119	Site Saint Louis (urbain)	1.2	8.9	14%	0.6
120	Site temp. Menpenti (urbain)	3.0	10.5	28%	1.1
121	209 tr Pierre Abondance	1.8	5.9	30%	1.2
122	Usine Arkema	5.5	6.3	91%	3.7
123	Bd Julien Rancurel	2.8	5.1	56%	2.3
124	A 51 // av St Menet	4.7	8.4	58%	2.3
125	Ch. de S ^t Menet aux Accates	2.3	3.9	57%	2.3
126	Imp. des Etoiles	0.8	2.8	29%	1.2
127	Site Vallée de l'Huveaune (périurb.)	3.5	4.4	81%	3.3

Figure 25 : Niveaux de benzène mesurés pendant la campagne de 2005 – T1 et T2

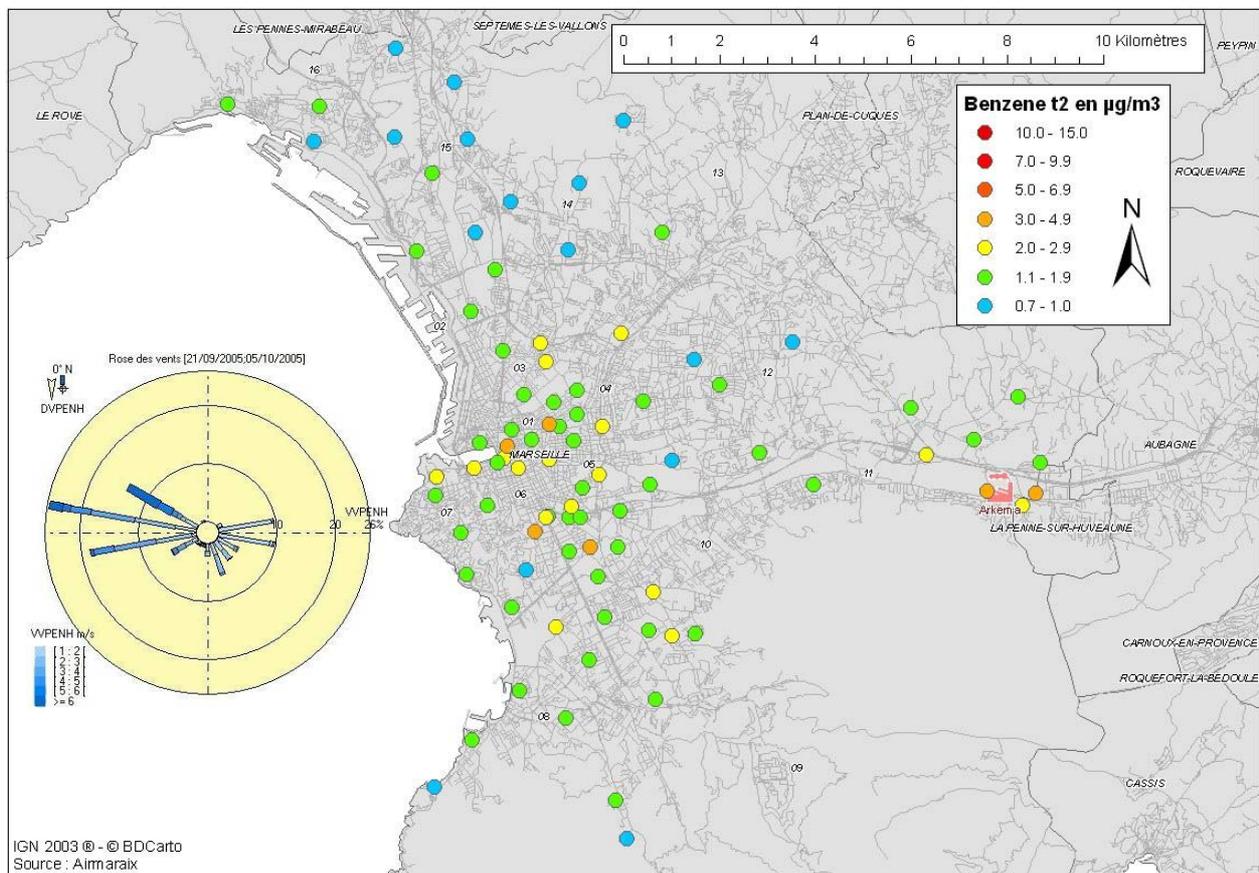
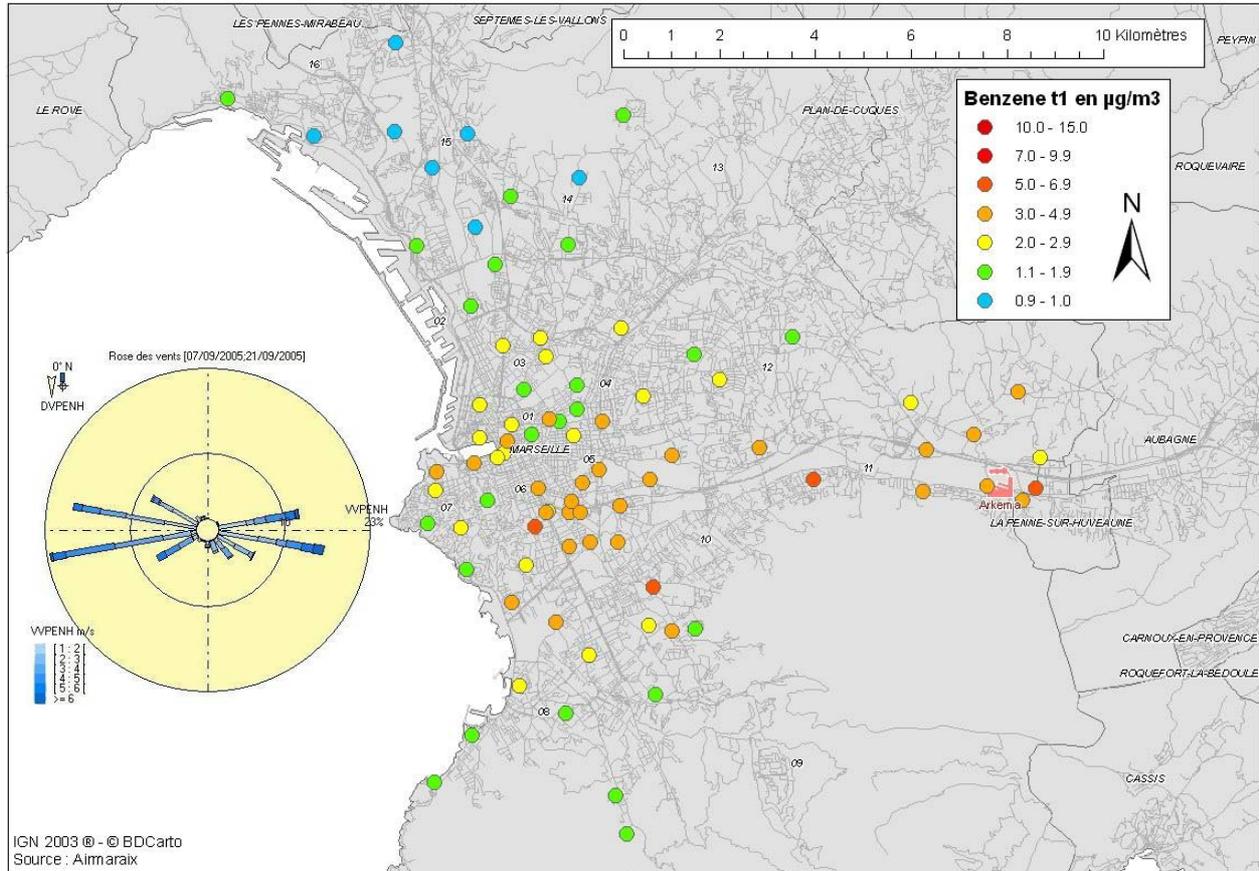


Figure 26 : Niveaux de benzène mesurés pendant la campagne de 2005 – T3 et T4

