

# CAMPAGNE

## DE MESURES TEMPORAIRES

2001-2004

### EVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR AUTOUR DE L'UIOM DE L'AGGLOMERATION TOULONNAISE

ET

### DETERMINATION D'UN TRACEUR SPECIFIQUE

AIRMARAIX/CEREGE/LEPI/INERIS

## Rapport Final



**INERIS**



Date de publication : Août 2004



Référence dossier : DR/LP06

Surveillance de la qualité de l'air de l'Est des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse  
67-69, avenue du Prado ; 13 286 Marseille Cedex 6 – Tel : 04 91 32 38 00 – Fax : 04 91 32 38 29 – Internet : [www.aimaraix.com](http://www.aimaraix.com) – Serveur téléphonique : 04 91 326 327

# SOMMAIRE

## CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ETUDE

I- INTRODUCTION	3 – 11
II- ETUDE PREALABLE – 2001	12
II-1- La simulation numérique (travaux de l'INERIS)	12 - 15
II-2- Campagnes de mesures préliminaires (travaux du CEREGE)	16 – 17
III- CAMPAGNE DE MESURE 2002	18 – 22

## CHAPITRE II : RESULTATS – DISCUSSION

I – NIVEAU DES POLLUANTS GAZEUX ET DES PM10	23
I-1- Niveaux mesurés et rapport aux normes	23
I-1-1- NIVEAUX EN OXYDES D'AZOTE : NO, NO <sub>2</sub> , NOX	24 – 26
I-1-2- NIVEAUX DE MONOXYDE DE CARBONE - CO	26
I-1-3- LES PM10 (CONCENTRATION MASSIQUE DES PARTICULES)	27 – 28
I-1-4- LE DIOXYDE DE SOUFRE – SO <sub>2</sub>	29
I-1-5- LE MERCURE GAZEUX - Hg	30
II- NIVEAUX DE METAUX LOURDS DANS LA FRACTION DES PM10	31
II-1- Analyse des résultats	32
II-2- Résultats des analyses de métaux lourds particuliers par laboratoire	33 – 34
III- ANALYSE DES RESULTATS PAR COMPOSE	35
III-1- Plomb (Pb)	35 -36
III-2- Cadmium (Cd)	37-38
III-3- Nickel (Ni)	38 -39
III-4- Arsenic (As)	39
III-5- Manganèse (Mn)	39 – 40
III-6- Fer (Fe)	41 – 42
III-7- Vanadium (V)	42 – 43
III-8- Titane (Ti)	43– 44
III-9- Aluminium (Al)	44– 45
III-10- Calcium (Ca)	46
III-11- Cuivre (Cu)	47– 48
III-12- Barium (Ba)	49
III-13- Zinc (Zn)	50 – 52
IV- ANALYSE DES MATRICES DE CORRELATION ENTRE LE SITE DU STADE ET L'ECOLE DE LA TAURIAC	53
IV-1- Magnésium et sodium (Mg et Na)	53
IV-2- Titane - aluminium - calcium ( Ti-Al-Ca)	54
IV-3- Manganèse et fer (Mn et Fe)	55
IV-4- Zinc et Cadmium (Zn et Cd)	55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	56 - 58

# CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ETUDE

## I- INTRODUCTION

Une des questions importantes concernant l'impact environnemental et sanitaire des rejets atmosphériques de l'incinération des ordures ménagères porte sur des composés cumulatifs émis à l'état de traces (CCE, 1999). Ces composés (dioxines, furannes, métaux lourds...) font l'objet d'interrogations quant à leur impact pour de longues périodes d'exposition (MAMANE, 1988 ; LINDQVIST, 1995 ; BOUDET et al., 1999). Après leur émission dans l'atmosphère, ces polluants sont incorporés dans les différents compartiments environnementaux tels que les sols, les eaux, la végétation ou même directement inhalés par l'homme et les animaux, ce qui nécessite, dans l'analyse de l'impact de telles installations, de prendre en compte les transferts entre les différents milieux.

L'étude réalisée dans l'agglomération grenobloise (BOUDET et al., 1999) semble indiquer que le risque sanitaire est faible. Cependant, elle ne prend en compte que l'inhalation des particules. Cette restriction n'est pas extensible à l'ensemble des environnements d'incinérateur et la prise en compte de la totalité des compartiments environnementaux concernés est indispensable pour une bonne évaluation du risque.

Des textes européens réglementaires et internationaux, notamment la directive cadre européenne de septembre 1996 (CCE 1996) et la liste publiée en 1999 par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO 1999), établissent une liste de métaux lourds à surveiller dans l'air ambiant pour leurs effets sanitaires.

Dans ce contexte, l'un des deux groupes de travail constitué dans le Var pour l'élaboration du Plan de Protection de l'Atmosphère (CODEP) demande qu'une évaluation des teneurs pour les composés visés par la directive (plomb, nickel, cadmium, arsenic, mercure) soit réalisée.

Sur le Var, le principal émetteur de métaux lourds est l'Unité d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM) situé à l'Ouest de Toulon dans le quartier de Lagoubran. Sa situation urbaine et la volonté des acteurs locaux, notamment le SITTOMAT, de mieux percevoir l'impact de cette activité sont autant d'éléments qui rendent favorables le déroulement d'une étude autour de ce site.

### OBJECTIFS :

Cette étude développée sur trois ans a trois objectifs principaux :

- évaluer les teneurs de différents composés dans l'environnement de l'Usine d'Incinération des Ordures Ménagères, notamment ceux émis *a priori* plus spécifiquement par cette activité (particules en suspension, métaux lourds...). Les teneurs rencontrées seront comparées aux normes, recommandations et références bibliographiques.
- essayer de déterminer un ou plusieurs traceurs minéraux atmosphériques spécifiques des émissions de l'UIOM.
- à partir de ces traceurs, étudier un éventuel transfert des composés minéraux cumulatifs de l'air ambiant vers les sols, ainsi que leur transfert dans la végétation.

Les deux derniers points sont plus spécifiquement étudiés dans le cadre de la thèse de Martine Lefloch au CEREGE.

## CONTEXTE DE L'ETUDE ET HISTORIQUE

La surveillance de la qualité de l'air sur le Var est réalisée par Airmaraix depuis la fin de l'année 1996, en relation avec la publication de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie. Un réseau permanent de sept stations de mesures est implanté sur l'agglomération toulonnaise. Ce dispositif surveille 24 heures sur 24 les polluants normalisés issus des transports, de l'activité industrielle, des chauffages domestiques et la pollution photochimique.

En 1996, une directive cadre européenne fixe une liste de 13 familles de polluants à surveiller dans l'air ambiant, à terme, en Europe. Dans cette liste apparaissent de « nouveaux polluants » dont les concentrations sont *a priori* très faibles (ordre de grandeur du  $\text{ng}/\text{m}^3$ ), mais qui ont des propriétés bioaccumulables. Il s'agit notamment de certains métaux toxiques, souvent appelés « métaux lourds » retenus pour leur toxicité ou leurs propriétés cancérogènes. A ce jour, seul le plomb a fait l'objet d'une directive « fille » qui définit son mode de surveillance et les seuils de référence (une valeur limite annuelle de  $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). Pour les autres composés, le nickel, le cadmium, l'arsenic et le mercure, les directives filles sont à l'état de projet.

En outre, l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 1999 une liste de métaux lourds à surveiller dans l'air ambiant, dans laquelle figurent, en plus des composés cités précédemment, le chrome VI, le manganèse et le platine.

En 1998, le SITTOMAT demande à Airmaraix d'intervenir autour de l'UIOM toulonnais pour évaluer la qualité de l'air et déterminer un traceur de cette activité dans l'air ambiant. A cette période, Airmaraix ne dispose pas des outils pour répondre à la question posée : peu de références bibliographiques, pas de compétence analytique pour les composés spécifiques de cette activité.

En 1999, en partenariat avec le CEREGE et le LEPI, Airmaraix participe à une opération pilote concernant l'analyse des métaux lourds particuliers sur le site de Marseille Saint-Louis financée par l'ADEME. Cette étude a permis de tisser des coopérations scientifiques pour le développement du protocole analytique (prélèvement, minéralisation, analyse). C'est également à cette occasion que des premiers travaux sur l'analyse physique de l'aérosol ont été lancés (spectre granulométrique, nombre de particules).

En 2000, une des orientations retenue par le Plan de Protection de l'Atmosphère du Var porte sur la qualification de l'air autour de l'UIOM. Airmaraix, avec le concours de trois laboratoires (CEREGE, LEPI, INERIS) propose au SITTOMAT un programme de travail sur trois ans basé à la fois sur la qualification de l'air pour les composés normalisés et sur des travaux de recherches et développements visant à essayer d'identifier des indicateurs pertinents de l'incinération des ordures ménagères. Ce travail de recherche est appuyé par l'ADEME sous la forme d'une bourse de thèse attribuée à Martine Lefloch.

## PRESENTATION DU SITE (CF. CARTE CI-DESSOUS)

L'Unité d'incinération des Ordures Ménagère est située à l'Ouest de Toulon dans le quartier de Lagoubran en situation périurbaine. Cette unité traite les ordures de dix neuf communes pour une population d'environ 450 000 habitants.

Le traitement des déchets est géré par le SITTOMAT, Syndicat Intercommunal de Transport et de Traitement des Ordures Ménagères, qui confie la gestion de l'unité d'incinération au CCUAT.

L'unité possède trois fours dont deux d'une capacité de 12 tonnes de déchets par heure et un d'une capacité de 14 t/h, ce qui représente un traitement d'environ 285 000 tonnes/an.

Cette usine est conçue pour fonctionner 24h/24 et 7j/7. La durée des arrêts annuels est de trois à quatre semaines.

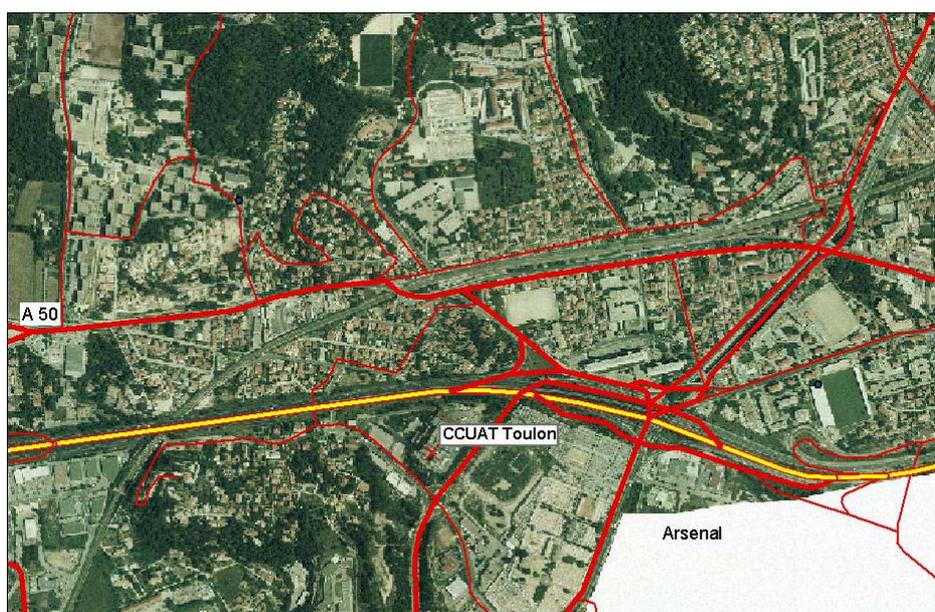


## ESTIMATION DES EMISSIONS DE L'UIOM DE TOULON EN 2000

	Four 1	Four 2	Four 3	Evaluation des émissions 2000 à partir des ces paramètres	Emission des Véhicules particuliers dans la maille de 1 km <sup>2</sup> incluant l'UIOM et l'autoroute <sup>1</sup>
	Valeurs exprimées à 11 % d'O <sub>2</sub> sur gaz sec et en mg/Nm <sup>3</sup>			En Kg/an	
<b>Cadmium gaz</b>	0.005	0.007	0.013	<b>15</b>	0.005
<b>Cadmium particulaire</b>	>0.005	0.001	0.002	<b>4</b>	Nd
<b>Mercure gaz</b>	0.002	0.006	0.018	<b>17</b>	Nd
<b>Mercure particulaire</b>	0.001	>0.0005	0.001	<b>1</b>	
<b>Nickel particulaire</b>	>0.001	0.004	0.012	<b>11</b>	0.0357
<b>Arsenic particulaire</b>	>0.001	>0.001	0.0004	<b>1</b>	Nd
<b>Plomb particulaire</b>	0.010	0.019	0.053	<b>51</b>	Nd
<b>Chrome particulaire</b>	0.008	0.010	0.017	<b>20</b>	0.0255
<b>Cuivre particulaire</b>	0.005	0.007	0.019	<b>19</b>	0.5583
<b>Manganèse particulaire</b>	0.004	0.011	0.022	<b>23</b>	0.005
<b>Particules</b>	15.0			Nd	
<b>HCl</b>	71.3			Nd	
<b>CO</b>	99.5			Nd	
<b>Débit de fumées sèches (à 11 % d'O<sub>2</sub>)</b>	47 400	52 100	83 000	/	
<b>Masse totale de métaux émise</b>				<b>162 kg/an</b>	<b>Moins de 1 kg/an</b>

Nd : non déterminé

Les mesures effectuées en 2000 par le CETE APAVE du Sud montrent que les normes à l'émission sont respectées. Le tableau montre que le four 3 rejette le plus de particules. Cette unité émet également le maximum de plomb parmi les trois, 0,053 mg/Nm<sup>3</sup> contre 0,010 et 0,019 mg/Nm<sup>3</sup>. Le principal facteur distinguant le four 3 des deux autres est le traitement de déchets hospitaliers, ceux-ci pourraient contenir plus de plomb. Si l'on compare les émissions annuelles estimées pour l'année 2000 de l'UIOM à celles du trafic des véhicules particuliers dans une maille de 1 km<sup>2</sup> incluant l'UIOM et l'autoroute, on constate que la part des véhicules est marginale pour les métaux considérés (moins de 1 kg/an contre environ 162 kg/an).



CARTE DE SITUATION DE L'UIOM TOULONNAIS

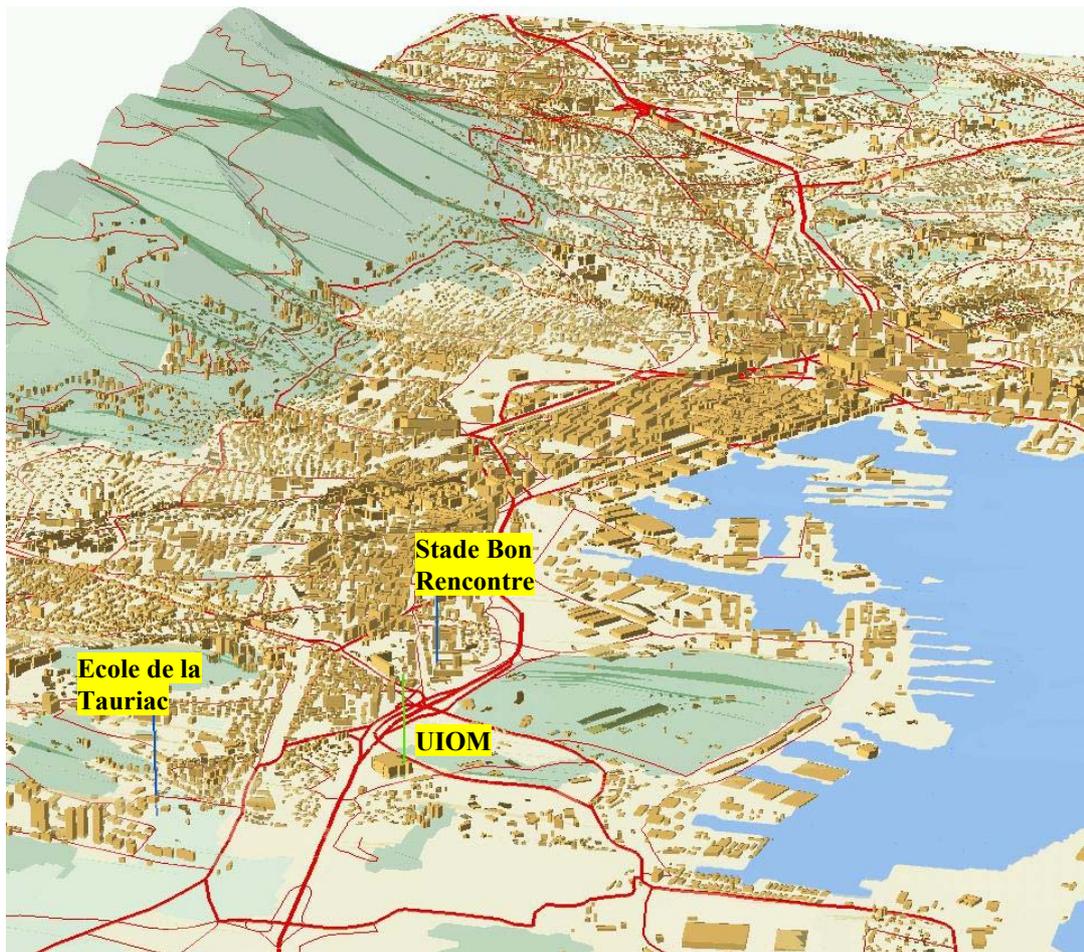


0 150 300 Mètres

BDORTHO © BDCARTO © - ©IGN PARIS  
AIRMARAIX 2004

<sup>1</sup> Source : Airmaraix, Inventaire des émissions Escompte, année 1999, 2002

## CARTE 3D DE SITUATION DE L'UIOM TOULONNAIS ET DES SITES DE PRELEVEMENTS DE LA CAMPAGNE 2002



### ARGUMENTAIRE POUR LE CHOIX DE L'UIOM DE L'AGGLOMERATION TOULONNAISE POUR LE PROJET DE THESE ADEME / CEREGE

Le site de l'UIOM toulonnais a été choisi pour différentes raisons :

1. Traitement d'une grande quantité de déchets ménagers, près de 285 000 tonnes par an (données 1998).
2. Une installation aux normes européennes qui permettra d'évaluer l'impact d'installations récentes ou futures vis à vis des composés pris en compte.
3. Un environnement urbain avec peu d'industries identifiées, qui interféreraient avec les émissions de l'installation ciblée et surtout des populations exposées.
4. Une demande des acteurs locaux : riverains, SITTOMAT, Préfecture du Var dans le cadre du PPA
5. Une conjoncture internationale : projet de directive européenne pour Pb, Cd, Ni, As et Hg et une liste de l'Organisation Mondiale de la Santé.
6. Capitalisation de compétences acquises en 1999 au sein d'un groupe piloté par l'ADEME sur le prélèvement et l'analyse des métaux lourds particuliers par AIRMARAIX/CEREGE.
7. Les données d'émissions fournies par le Ministère de l'Environnement situent l'UIOM de l'agglomération toulonnaise au 26<sup>ème</sup> rang des émetteurs de Cadmium (sur 37 recensés) et au 18<sup>ème</sup> (sur 33) pour le Mercure.

## COMPOSES CIBLES PAR L'ETUDE

L'étude cible uniquement des composés minéraux qui peuvent poser des problèmes sanitaires (polluants normalisés ou ciblés par l'OMS) ou qui s'illustreraient pour la spécificité de la source en vue de déterminer des indicateurs.

La fraction organique, en particulier les dioxines et furannes, ne sera pas abordée dans cette première étape, compte tenu des difficultés métrologiques et des coûts associés.

### Composés ciblés pour leur impact sanitaire potentiel

Composés	Symbole chimique	phase	Norme, Projet de norme ou recommandations
<b>Monoxyde d'azote</b>	NO	gaz	/
<b>Dioxyde d'azote</b>	NO <sub>2</sub>	gaz	Valeur limite annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup> Valeur limite horaire : 200 µg/m <sup>3</sup> (tolérance 18 h/an) Recommandation horaire PRQA : 135 µg/m <sup>3</sup> (tolérance de 17 j/an)
<b>Dioxyde de soufre</b>	SO <sub>2</sub>	gaz	Valeur limite annuelle : 50 µg/m <sup>3</sup> Valeur limite horaire : 350 µg/m <sup>3</sup> Valeur limite 24 h : 125 µg/m <sup>3</sup>
<b>Monoxyde de carbone</b>	CO	gaz	Valeur limite horaire : 30 mg/m <sup>3</sup>
<b>Particule inférieure à 10 µm (concentration massique)</b>	PM10	particule	Valeur limite annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup> Valeur limite 24 h : 50 µg/m <sup>3</sup> (tolérance 35 j/an)
<b>Plomb</b>	Pb	particule	Valeur limite annuelle : 500 ng/m <sup>3</sup>
<b>Nickel</b>	Ni	particule	Projet valeur cible annuelle : 20-50 ng/m <sup>3</sup>
<b>Cadmium</b>	Cd	particule	Projet valeur cible annuelle : 5 ng/m <sup>3</sup>
<b>Arsenic</b>	As	particule	Projet valeur cible annuelle : 6 ng/m <sup>3</sup>
<b>Mercure</b>	Hg	Gaz/particule (90 % gaz)	Projet valeur cible annuelle : 50 ng/m <sup>3</sup>
<b>Chrome VI</b>	Cr VI	particule	Ciblé par l'OMS <sup>1</sup>
<b>Manganèse</b>	Mn	particule	Ciblé par l'OMS
<b>Platine</b>	Pt	particule	Ciblé par l'OMS

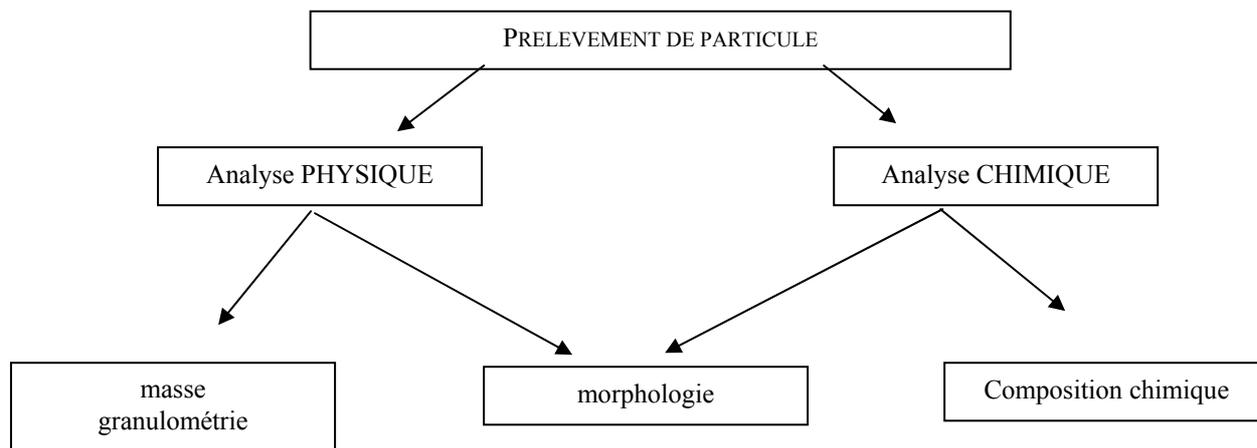
<sup>1</sup> OMS : Organisation Mondiale de la Santé

**PARAMETRES CIBLES POUR ESSAYER DE DETERMINER UN INDICATEUR DANS L'AIR AMBIANT DE L'UIOM**

Paramètres	Symbole	phase	Taille de particule
<b>Autres métaux lourds (liste non exhaustive)</b>	Al, Ba, Ca, Cd ; Co, Cu, Fe, K, Mg, Na, Ti, V, Zn	Particule	PM10 TSP <sup>2</sup> Impacteur DEKATI <sup>3</sup> Impacteur Sierra <sup>4</sup>
<b>Spéciation des métaux</b>	Ex : NiO, NiSO <sub>4</sub> , NiCl <sub>2</sub> ...	particule	TSP Impacteur DEKATI
<b>Anions</b>	Cl, F, NO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , NO <sub>4</sub> , PO <sub>3</sub>	Particule	TSP Impacteur DEKAT Impacteur Sierra
<b>Cations</b>	NH <sub>4</sub> , Mg, Ca, Na	particule	TSP Impacteur DEKATI Impacteur Sierra
<b>Comptage par taille granulométrique</b>	/	particule	De 0.0106 à 10 µm <sup>5 6</sup>
<b>Etude morphologique des particules</b>	/	particule	> 0.2 µm
<b>Granulométrie laser</b>	/	particule	?

Les particules sont étudiées selon deux axes :

- **Physique** : granulométrie, masse, morphologie
- **Chimique** : analyse de composés minéraux (métaux lourds, ions)



<sup>2</sup> TSP : Particules totales en suspension

<sup>3</sup> Impacteur en cascade DEKATI : 0.032 ; 0.063 ; 0.108 ; 0.174 ; 0.266 ; 0.409 ; 0.662 ; 1.03 ; 1.67 ; 2.54 ; 4.12 ; 6.87 ; 10.6 µm

<sup>4</sup> Impacteur en cascade HVS Sierra : 0.49 ; 0.95 ; 1.5 ; 3 ; 7.2 µm

<sup>5</sup> Compteur électrostatique SMPS : de 0.0106 à 0.407 µm

<sup>6</sup> Compteur optique Royco : de 0.50 à 10 µm

## INTERVENANTS SCIENTIFIQUES

### INTERVENANTS SCIENTIFIQUES ET LEURS ROLES



Pilotage du projet  
Gestion et maintenance  
des matériels de  
prélèvements  
Prêt des Partisol Plus  
Campagne de mesure  
du camion laboratoire  
Synthèse études

**Intervenants :**  
Dominique Robin  
Francis Levaudel



Mise en œuvre des  
campagnes de mesure  
Analyses des métaux  
lourds dans l'air, le sol  
et la végétation  
Analyse morphologique

**Intervenants :**  
Yves Noack  
Martine Lefloch



Quantification des  
particules (en nombre et  
en taille) et  
prélèvements  
(impacteurs en cascade)  
Chromatographie  
ionique pour l'analyse  
des cations et des anions

**Intervenants :**  
Serge Despiau  
Christel le Cayol



Modélisation des  
retombées du panache  
Prêt du Técran pour la  
mesure de vapeur de  
mercure  
Prélèvement et analyse  
de métaux (HVS)

**Intervenants :**  
Fabrice Marlière  
Nathalie Bocquet  
Laurence Rouil

CEREGE - Service de Diffractométrie X – EUROPOLE MEDITERRANEEN DE L'ARBOIS – B.P. 80  
13545 Aix en Provence CEDEX 4 – Tél : 04 42 97 15 49 – E-Mail : [ynoack@cerege.fr](mailto:ynoack@cerege.fr)

LEPI – BP132 – 83 957 La Garde Cedex – Tél : 04 94 14 23 63 – E-Mail : [despiau@isitv.univ-tln.fr](mailto:despiau@isitv.univ-tln.fr)

INERIS – Parc technologique ALATA – BP-N°2 – 60 550 Verneuil-en-Halatte – Tél : 03-44-55-66-77 –  
E-mail : [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr)

## **Thèse effectuée au CEREGE par Martine Le Floch au CEREGE**

résumé en annexe

Parallèlement aux travaux coordonnés par AIRMARAIX, dont les objectifs principaux sont d'évaluer les teneurs en métaux lourds et principaux gaz dans l'air ambiant, autour de l'unité d'incinération, une thèse est développée par Martine Le Floch au CEREGE sous la Direction de Yves Noack (Directeur de recherche au CNRS).

L'intitulé est : « **EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL D'UNE UNITE D'INCINERATION DES ORDURES MENAGERES (UIOM) ET DETERMINATION D'UN TRACEUR ATMOSPHERIQUE SPECIFIQUE** ». La bourse de thèse est financée par l'ADEME.

Les objectifs scientifiques de ces travaux sont :

- d'évaluer l'impact environnemental des émissions de particules et de métaux lourds en étudiant à la fois la qualité de l'air ambiant, la dispersion des métaux dans les sols ainsi que leur transfert dans la végétation, en particulier dans des végétaux comestibles. Cette évaluation se fera à travers des prélèvements de l'air ambiant, des dépôts totaux (secs et humides), des carottages de sols et des prélèvements de végétaux comestibles.
- d'essayer de déterminer un traceur minéral atmosphérique spécifique des émissions de l'UIOM.

### **Retombées attendues de la thèse**

Ce travail devrait permettre de mieux évaluer l'impact sanitaire lié aux composés minéraux émis par une UIOM en analysant différents compartiments, voies de passage vers l'être humain, de l'environnement : air, sol et végétation. Il pourrait être complété par la suite par l'analyse de certains composés organiques pour lesquels de nombreux développements sont en cours.

Il peut également servir de travail pilote pour la détermination d'un traceur spécifique aux UIOM, problème important intéressant de nombreux organismes (administrations, gestionnaires d'installation, .....).

## II- ETUDE PREALABLE – 2001

Cette étape préalable, réalisée en 2001, a pour objectif de choisir au mieux deux sites, *a priori* sous l'influence de l'UIOM, sur lesquels seront analysés un grand nombre de composés.

### II-1- La simulation numérique (travaux de l'INERIS)

La simulation numérique du panache de l'UIOM est une étape essentielle de cette étude. Elle permet de déterminer les zones de retombées maximums du panache et de positionner au mieux les sites de mesures pour la campagne de 2002.

Les résultats issus de cette étude sont qualitatifs dans cette première approche. Il s'agit, en fonction de la cinétique d'émission des gaz (vitesse et température d'éjection au niveau de la cheminée, géométrie de la cheminée), du relief et des conditions météorologiques, de simuler le panache pendant un an. Les concentrations de particules et de gaz fournies par ces calculs sont un premier ordre de grandeur des teneurs, assez imparfait, notamment en raison de la mauvaise connaissance des émissions (1 relevé par an pour certains composés).

L'année de simulation choisie est 2000 et les données météorologiques utilisées sont celles de la station Météo-France de la Mitre à Toulon. Une étude statistique du CEREGE préalable a permis de montrer que l'année 2000 est comparable aux dix dernières années en matière de climatologie.

Données d'entrées utilisées dans le modèle :

- données météorologiques horaires de Toulon La Mitre (source Météo-France)
  - direction, vitesse du vent,
  - nébulosité (indicateur de stabilité atmosphérique).
- Données caractéristiques de la source :
  - hauteur de cheminée : 80 mètres
  - diamètre des cheminées issues des trois fours
  - débit de fumée
  - vitesse et température d'éjection.
- Données d'émissions issues d'un relevé du CETE APAVE du Sud en novembre 2000
  - composition du rejet en polluants
  - concentration de chaque polluant
  - granulométrie des particules (affectant la vitesse de dépôt pour le calcul des retombées au sol).

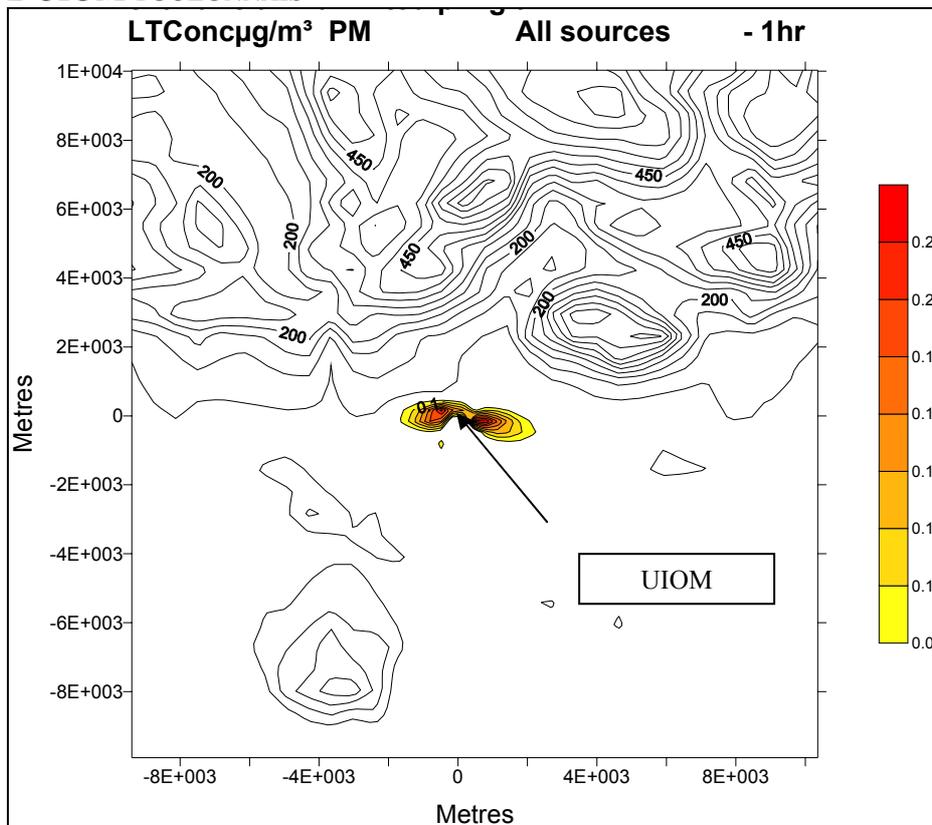
**Les limites principales de la démarche sont :**

- Phénomène de brises de mer non pris en compte
- Incertitude sur la représentativité des données d'émissions
- Mauvaise connaissance de la granulométrie des particules en sortie de cheminée.

## Résultats de l'étude préliminaire

Répartition sur tout le domaine des concentrations annuelles en plomb et particules en suspension.

### REPARTITION DES NIVEAUX DE PARTICULES SIMULEE PAR ADMS3 SUR L'ANNEE 2000 AUTOUR DE L'UIOM TOULONNAIS

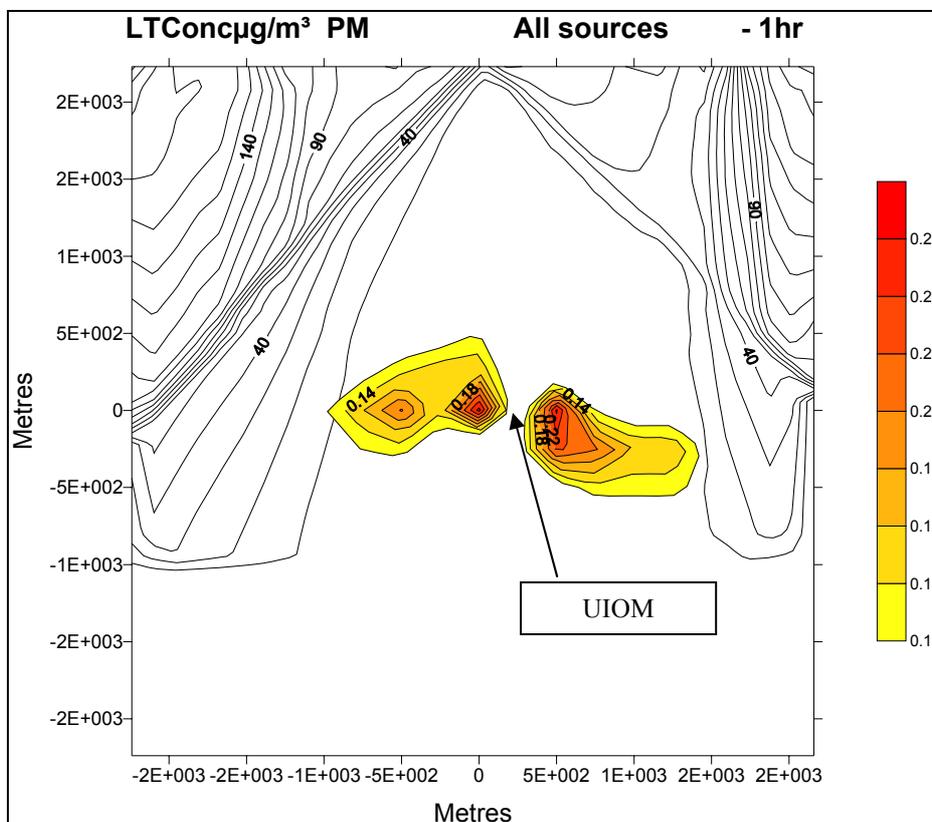


#### Domaine de 20x20 km

Les isocourbes noires correspondent à la topographie en mètres.

Les concentrations calculées de particules sont symbolisées par les zones colorées (jaune à rouge). Les teneurs sont exprimées en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Cette sortie montre que les émissions du panache de l'UIOM retombent majoritairement dans les premiers kilomètres.



#### Domaine de 4x4 km

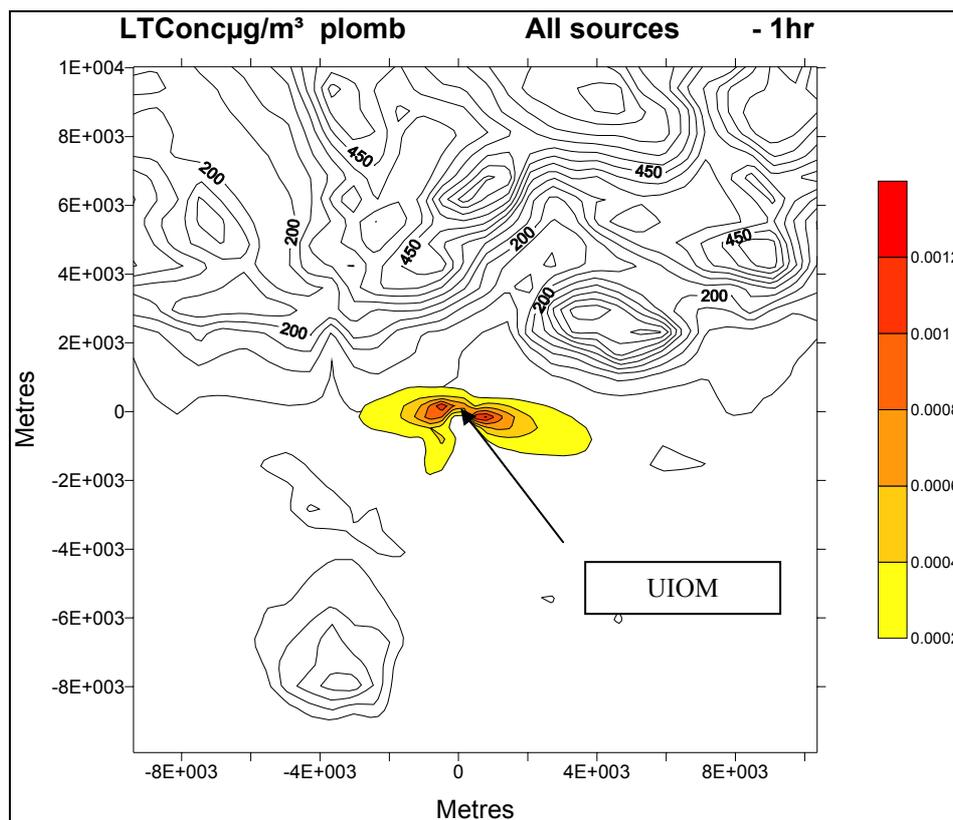
Le domaine de modélisation a été divisé par cinq par rapport à la sortie précédente.

Ces calculs indiquent que les retombées maximums seraient situées entre 500 et 1500 mètres à l'Est et l'Ouest de la cheminée, sous les vents dominants.

Les niveaux maximums annuels estimés pour les particules sont  $0.22 - 0.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

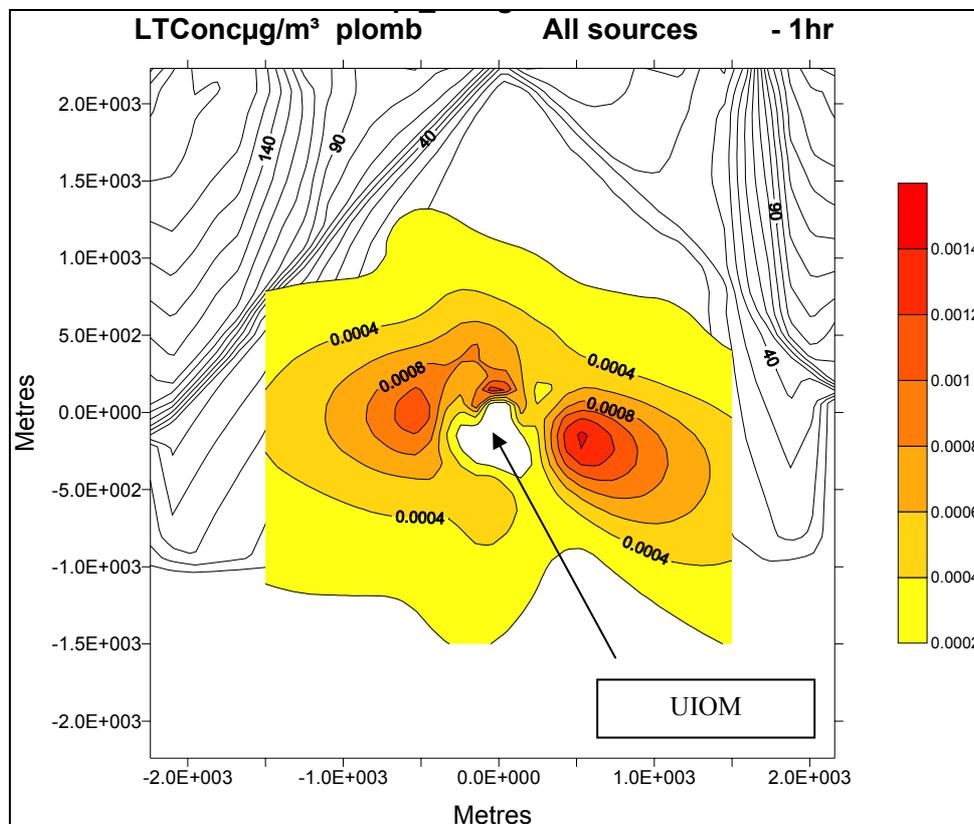
Les teneurs diminuent fortement au-delà des deux premiers kilomètres.

**REPARTITION DES NIVEAUX DE PLOMB PARTICULAIRE SIMULEE PAR ADMS3 SUR L'ANNEE 2000  
AUTOUR DE L'UIOM TOULONNAIS**



**Domaine de 20x20 km**

Les niveaux calculés à partir des émissions de plomb particulaire indiquent, comme pour les particules, que les retombées sont assez proches de l'UIOM.



**Domaine de 4x4 km**

Le recentrage du domaine de modélisation montre une extension plus grande de ce composé par rapport aux particules en suspension, en raison de la taille de particule choisie pour les métaux (< 5 µm) dans la modélisation.

Ces particules de petite taille se comportent quasiment comme des gaz dans l'atmosphère. Les teneurs maximums semblent néanmoins proches de l'unité entre 500 et 1500 mètres.

Les premières sorties de modélisation du panache réalisées avec ADMS3 montrent que :

- Les zones de retombées maximales sont à l'Est et à l'Ouest de la cheminée (sous les vents dominants)
- Les retombées maximales sont assez proches de l'usine, principalement dans les deux premiers kilomètres. Ce constat a conduit à un recentrage du domaine, de 20 km par 20 km au début, il a été ramené à une zone de 4 x 4 km.
- Les teneurs estimées pour le plomb, pourtant émis en plus grande quantité que les autres composés métalliques pris en compte, semblent faibles :  $0.0010 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les zones où les teneurs seraient les plus élevées, soit  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$  (rappelons que la valeur limite annuelle européenne est de  $500 \text{ ng}/\text{m}^3$ ).
- Pour les particules en suspension, la contribution de l'UIOM semble également faible en moyenne sur l'année :  $0.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les zones de retombées maximales, alors que la moyenne de PM10 dans ce secteur se situe entre 20 et  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (valeur limite :  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ).

## II-2- Campagnes de mesures préliminaires (travaux du CEREGE)

En 2001, cinq sites ont fait l'objet de premières mesures de métaux lourds dans l'air ambiant :

- **Site 0** - Maison de la Qualité au pied de la cheminée de l'UIOM
- **Site 1** - A 600 mètres au Nord de la cheminée au Collège de la Marquisane
- **Site 2** - A 1000 mètres à l'Est au stade de Bon Rencontre
- **Site 3**- A 300 mètres au Nord de l'usine chez un particulier
- **Site 4** - à l'Est sur le site permanent de l'Hôpital Chalucet.

Les périodes correspondant aux mesures sur ces sites sont respectivement **P0, P1, P2, P3, P4** pour les **sites 0 à 4**.

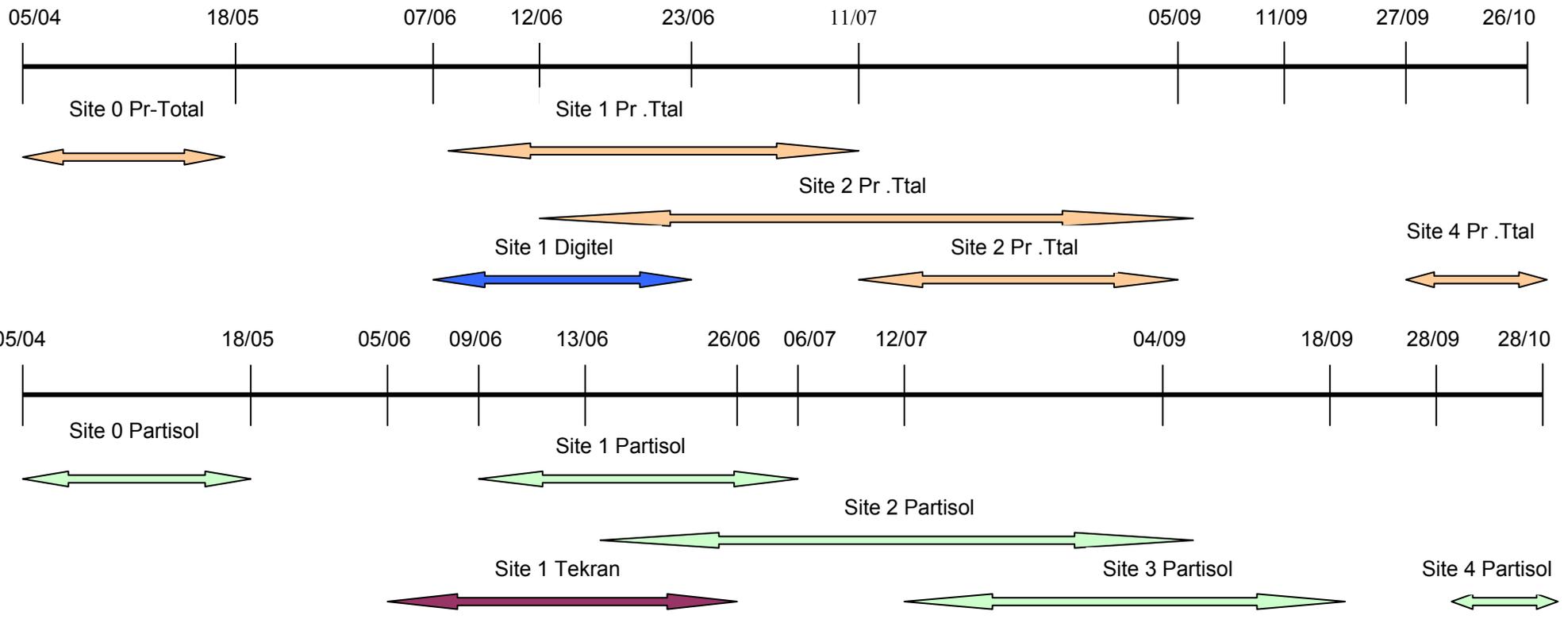
Le préleveur utilisé est un Partisol Plus mobile configuré en PM10, c'est à dire qu'il ne prélève que les particules les plus fines en relation avec l'orientation européenne. L'échantillonnage est journalier sur des filtres téflon et les analyses sont réalisées en Absorption Atomique Four ou ICP-AES selon les concentrations.

Un analyseur de mercure gazeux (TEKRAN) et deux préleveurs haut débit (Digitel) ont été mis en œuvre par l'INERIS du 5 au 3 juillet 2001 sur le site 2 au stade Bon Rencontre (l'ensemble des résultats est présenté dans le rapport n°1). Les métaux lourds ont été analysés sur les filtres prélevés par le Digitel.

### Photographie du préleveur mobile : Partisol Plus



# Calendrier de la campagne du 5 avril au 26 octobre 2001

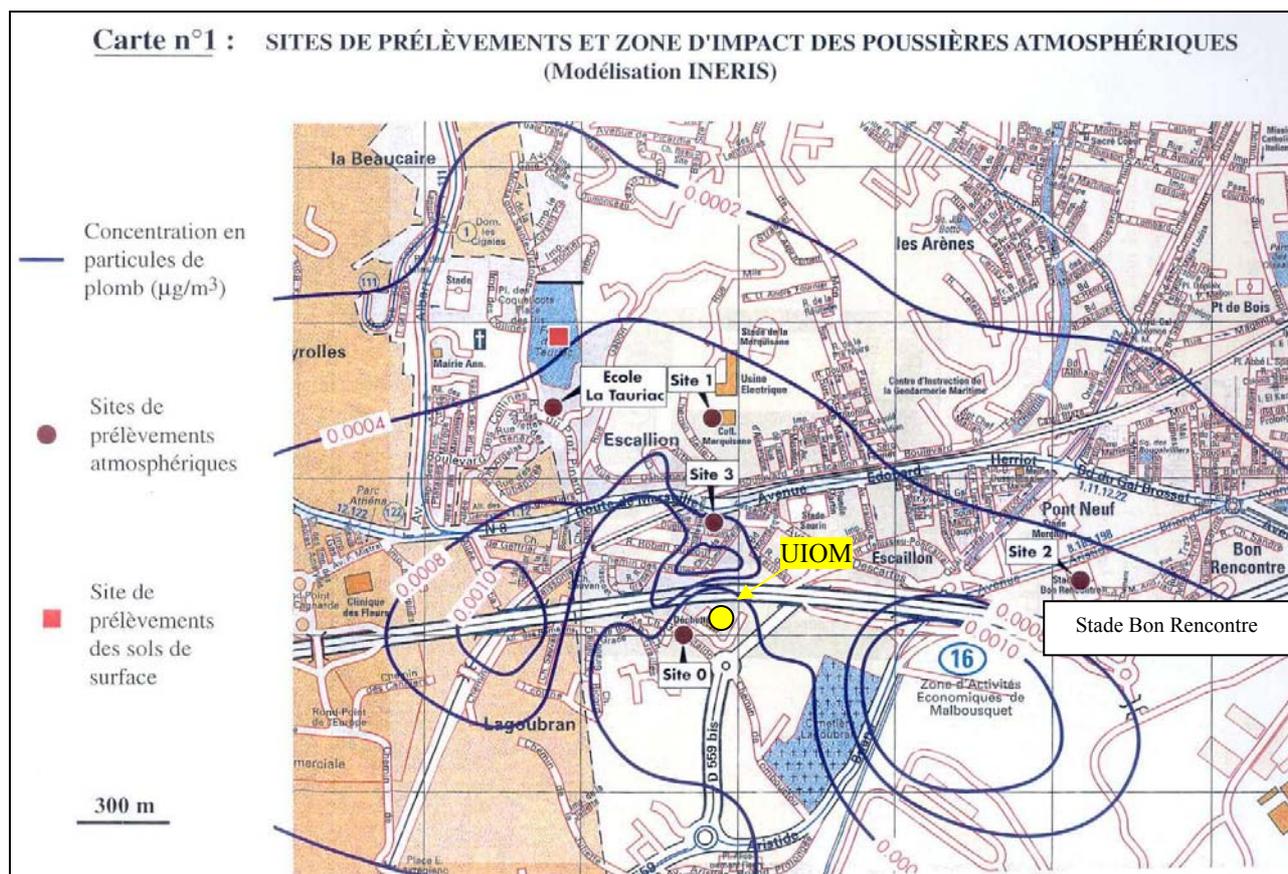


### III- CAMPAGNE DE MESURE 2002

L'étude préliminaire a conduit à déterminer deux sites de prélèvements sur lesquels des mesures poussées ont été réalisées.

Il s'agit :

- du **stade Bon Rencontre à l'Est de la cheminée**, sous le Mistral, site échantillonné pendant la campagne préliminaire – site 2 pendant la campagne préliminaire.
- De **l'Ecole de la Tauriac au Nord Ouest** de la cheminée sous les flux d'Est et les régimes de brise de mer.



#### Moyens mis en œuvre durant la campagne de 2002 et planning

Les mesures se sont étalées du **13 février au 4 juillet 2002** (cf calendrier de la campagne). Pendant cette période, la totalité des paramètres ciblés par l'étude ont été mesurés.

#### *Polluants gazeux et particulaires mesurés en continu :*

- Analyseurs de composés classiques (NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM10 en masse)
- Analyseur de mercure gazeux (TEKRAN)
- Compteur électrostatique de particules SMPS
- Compteur optique de particules ROYCO

#### *Des prélèvements qui subiront un traitement et une analyse ultérieure :*

- Préleveur partisol Plus configuré en PM10
- Préleveur de particules totales en suspension (TSP)
- Préleveur haut débit (Digitel)
- Impacteur en cascade HVS Sierra
- Impacteur en cascade DEKATI.

Les prélèvements réalisés par ces différents appareils sont ensuite analysés selon les cas pour fournir :

- les teneurs en métaux lourds (Pb, Ni, Cd, As, Zn...),
- une spéciation de certains métaux,
- une étude de l'isotopie du plomb,
- la composition ionique (cations, anions),
- une étude structurale et morphologique des particules (microscopie à balayage, granulométrie laser).

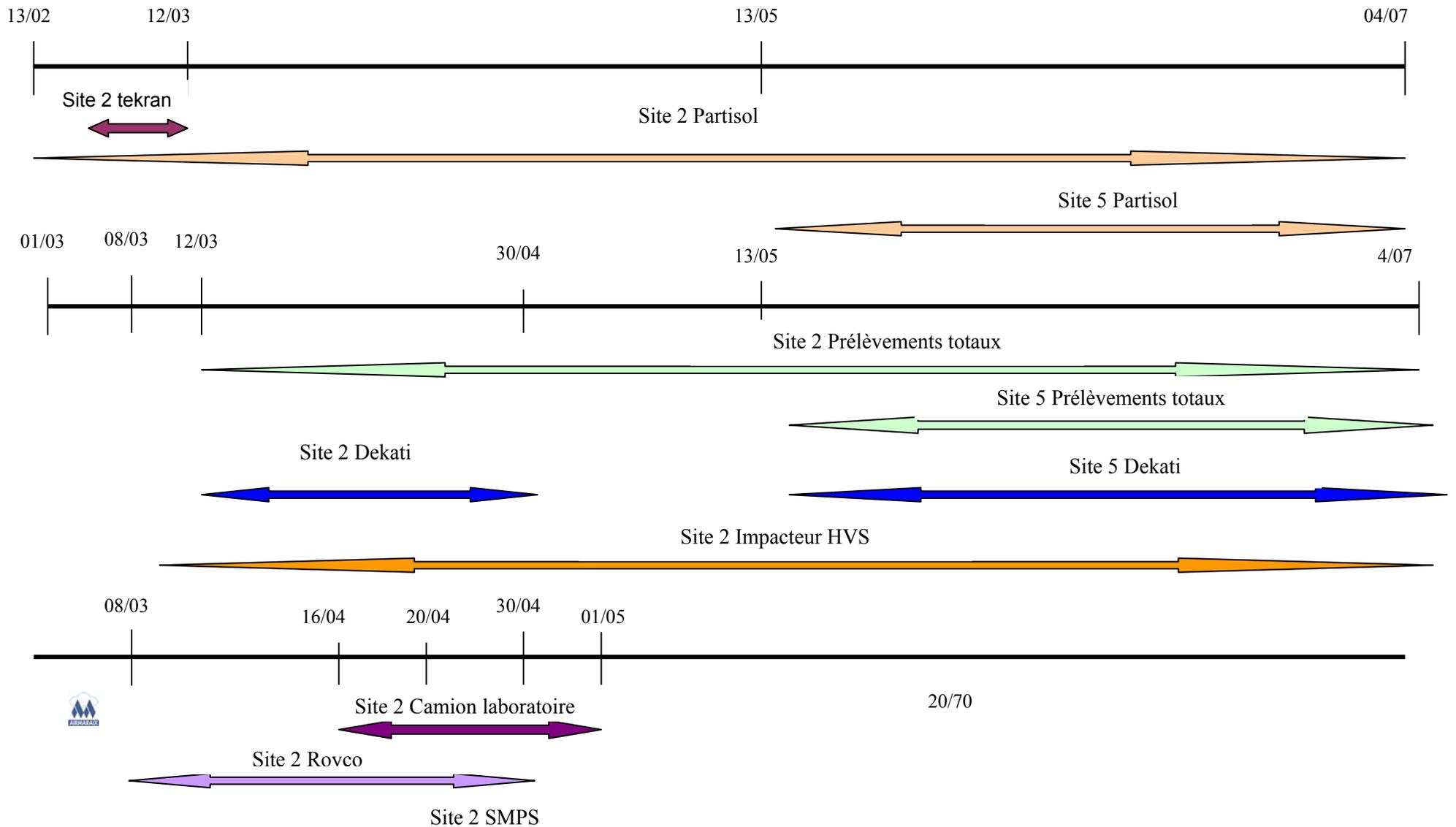
L'ensemble de ces analyses vise à décrire les niveaux des principaux gaz présents dans l'atmosphère sur ces sites (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Hg, CO).

Elles consistent également à appréhender les particules en suspension selon trois axes :

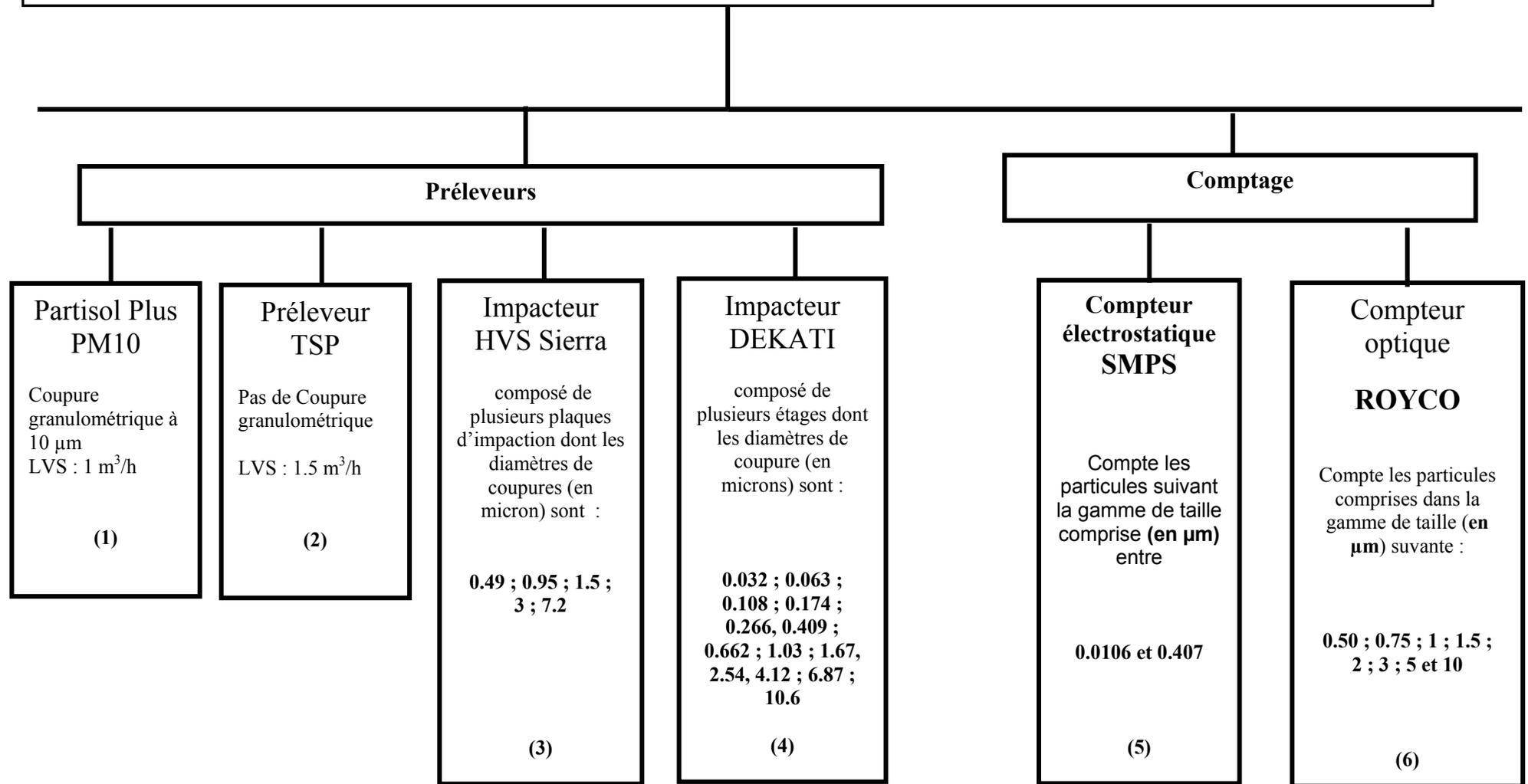
- La concentration massique des PM<sub>10</sub> (paramètre réglementé)
- Le nombre et la taille des particules
- La nature chimique des particules (métaux, ions...).

**L'objectif est d'essayer d'identifier la trace de l'UIOM dans l'air ambiant en couplant l'ensemble de ces paramètres.**

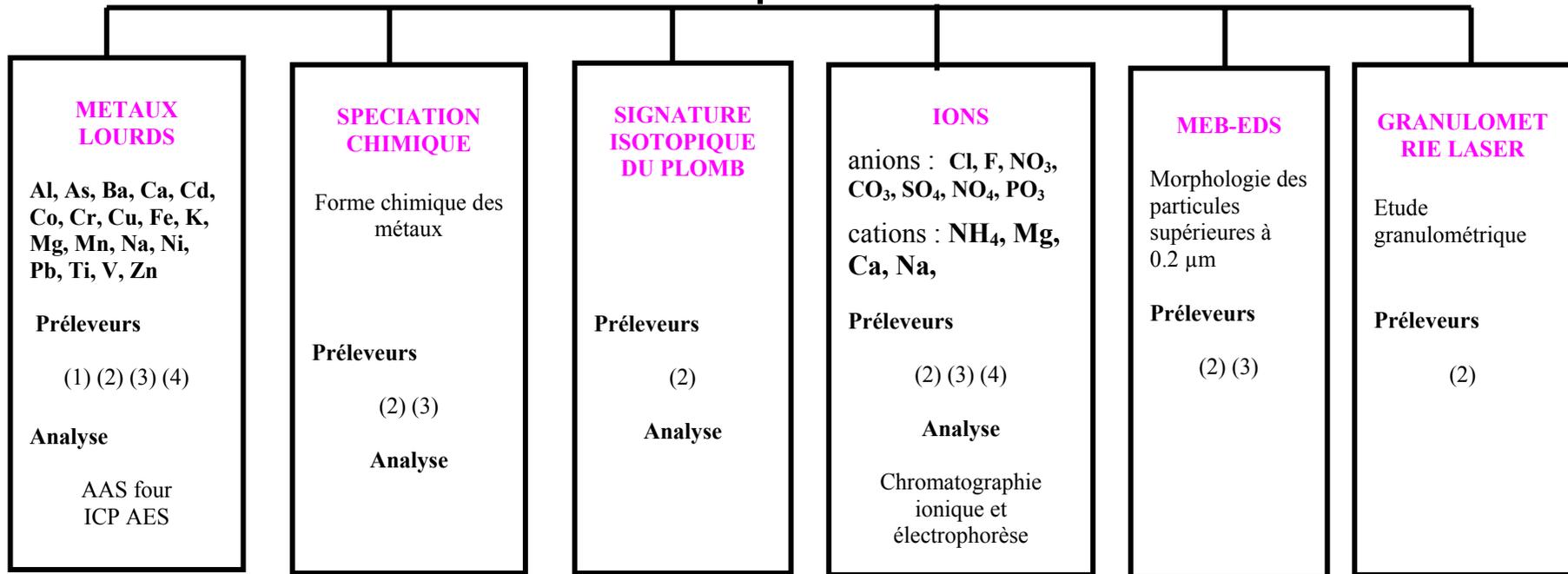
# Calendrier de la campagne du 13 février au 4 juillet 2002



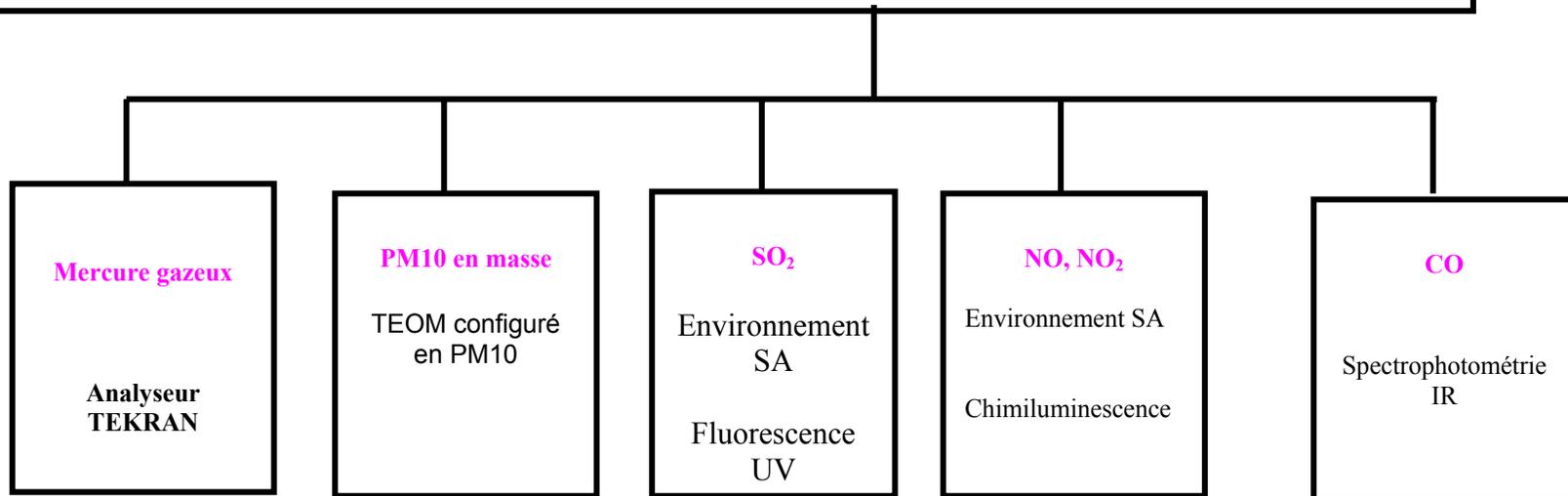
# Mode prélèvement et de comptage des particules



**TRAITEMENT ANALYTIQUE DES ECHANTILLONS RECUEILLIS PAR LES PRELEVEURS**



**Analyseurs continus de gaz et de particules**



# CHAPITRE II : RESULTATS – DISCUSSION

## I – NIVEAU DES POLLUANTS GAZEUX ET DES PM10 - STADE BON RENCONTRE

La campagne du camion laboratoire s'est déroulée du **16 avril au 1<sup>er</sup> mai 2002** sur le site du stade Bon rencontre. Cette période est nommée **P1** dans le rapport. L'étude suivante compare les niveaux mesurés aux normes, ainsi qu'aux teneurs relevées sur d'autres secteurs géographiques. Une étude statistique sommaire vise également à déceler l'éventuelle influence de l'activité de l'UIOM sur ces paramètres *a priori* assez peu spécifiques de cette activité.

### I-1- Niveaux mesurés et rapport aux normes

Le traitement des données proposé ci-après vise à évaluer **les niveaux annuels** et le **risque de dépassement des normes**.

La reconstitution statistique de la moyenne annuelle à partir des données relevées pendant la période P1 est réalisée en utilisant le lien entre le site Bon Rencontre et les sites pérennes de l'agglomération. Ce lien est quantifié statistiquement à travers le coefficient de corrélation linéaire (R) calculé à partir des données horaires. Il sera considéré qu'un lien est suffisamment significatif pour reconstituer une moyenne annuelle lorsque **R est supérieur à 0.6**.

#### I-1-1- NIVEAUX EN OXYDES D'AZOTE : NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

*C'est le monoxyde d'azote (NO) qui est majoritairement émis par le processus de combustion (notamment à la sortie du pot d'échappement), il est ensuite oxydé en quelques dizaines de secondes pour former le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).*

- Les principaux effets du NO<sub>2</sub> sur la santé sont une altération de la fonction respiratoire en particulier chez l'enfant, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.
- Il joue également un rôle dans les processus photochimiques et les pluies acides.

---

Valeurs de référence pour le NO<sub>2</sub> :

- **Décret du 15 février 2002**
  - **La valeur limite annuelle** est de 40 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010,
  - **Norme horaire limite** : 200 µg/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 18 heures par an
- **OMS** : **La recommandation annuelle de l'OMS est de 40 µg/m<sup>3</sup> (Guideline for Air quality 1999).**
- **PRQA de la région PACA** : **Seuil de 135 µg/m<sup>3</sup> sur 1 heure à ne pas dépasser plus de 17 jours par an.**

**Valeur de référence pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) :**

- Décret du 15 février 2002 : Charge critique pour les écosystèmes - **30 µg/m<sup>3</sup>/an.**
-

## TABLEAU RECAPITULATIF DES NIVEAUX EN OXYDES D'AZOTE NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

### NO : MONOXYDE D'AZOTE

En µg/m <sup>3</sup>	Stade Bon Rencontre	Toulon Chalucet	Toulon Arsenal	Toulon Foch	Toulon Lafayette	La Seyne sur Mer
<b>moyenne P1</b>	13	14	12	48	10	10
<b>Moyenne 2002</b>	21*	23	18	/	18	15
<b>Coef corrélation avec Stade</b>	1.00	0.70	0.63	0.62	0.61	0.46
<b>R P1/2002</b>	0.62**	0.63	0.65	/	0.55	0.67

\* estimation 2002 ; \*\* R moyen

### NO<sub>2</sub> : DIOXYDE D'AZOTE

En µg/m <sup>3</sup>	Période	Stade Bon Rencontre	Toulon Chalucet	Toulon Arsenal	Toulon Foch	Toulon Lafayette	La Seyne sur Mer
<b>moyenne</b>	P1	49	45	34	77	35	29
	2002	51*	42	35	/	38	32
<b>Coef corrélation avec Stade</b>	P1	1.00	0.75	0.73	0.72	0.70	0.77
<b>R P1/2002</b>		0.97**	1.07	0.96	/	0.93	0.92
<b>Maximum horaire Date</b>	P1	154 22-avr	181 22-avr	186 22-avr	185 22-avr	164 22-avr	141 22-avr
<b>Maximum horaire Date</b>	2002	/	252 10/01	244 10/01	/	192 10/01	189 10/01
<b>Nb h &gt; 135 µg/m<sup>3</sup></b>	P1	1	6	5	13	4	1
	2002	> 17 j peu probable	11	13	/	6	12
<b>Nb d'h &gt; 200 µg/m<sup>3</sup></b>	P1	0	0	0	0	0	0
	2002	Dépassement Probable (mais < 18 h)	3	2	/	0	0

\* estimation ; \*\* R moyen

### NO<sub>x</sub> : OXYDES D'AZOTE (NO + NO<sub>2</sub>)

En µg/m <sup>3</sup>	Stade Bon Rencontre	Toulon Chalucet	Toulon Arsenal	Toulon Foch	Toulon Lafayette	La Seyne sur Mer
<b>moyenne P1</b>	85	84	64	125	64	56
<b>Moyenne 2002</b>	72*	65	53	/	56	47

\* estimation

### RAPPORT NO/NO<sub>2</sub>

En µg/m <sup>3</sup>	Stade Bon Rencontre	Toulon Chalucet	Toulon Arsenal	Toulon Foch	Toulon Lafayette	La Seyne sur Mer
<b>R NO/NO<sub>2</sub> pendant P1</b>	0.27	0.32	0.35	0.63	0.28	0.34

Le niveau annuel estimé de dioxyde d'azote pour l'année 2002 au stade Bon Rencontre (**51 µg/m<sup>3</sup>**) est supérieur à la valeur limite européenne annuelle (40 µg/m<sup>3</sup> à l'échéance 2010). Cette concentration est plus élevée que celles enregistrées sur les sites urbains de l'agglomération toulonnaise (**32 à 42 µg/m<sup>3</sup>**).

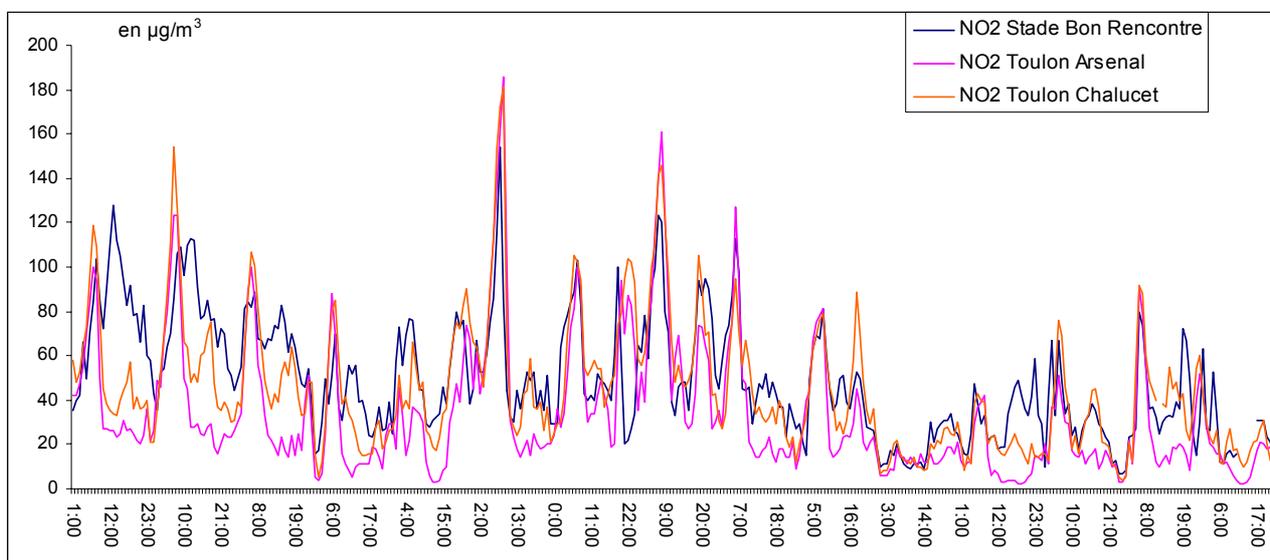
Le seuil horaire de 135 µg/m<sup>3</sup> fixé par le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA), a été atteint une journée pendant la campagne de mesures. Le nombre de jours de dépassement annuel de ce seuil est a priori inférieur à 17 jours (tolérance de l'objectif de qualité), même si cette extrapolation est délicate. La valeur limite (200 µg/m<sup>3</sup>) risque également d'être dépassée sur ce site pendant quelques heures dans l'année, même si elle n'a pas été atteinte pendant la campagne (maximum horaire : 154 µg/m<sup>3</sup> le 22/04). Ces dépassements sont sans doute inférieurs à 18 heures / an (respect de la norme).

A noter la bonne corrélation linéaire (0.7 à 0.77) entre le site du stade Bon rencontre et les sites

permanents du réseau Airmaraix. Ce lien traduit la forte prédominance de l'activité automobile dans l'évolution de ce composé, dont il est un des traceurs les plus utilisés. La proximité de l'autoroute au Sud est sans doute à la fois à l'origine de cette forte influence automobile, ainsi que des niveaux élevés constatés.

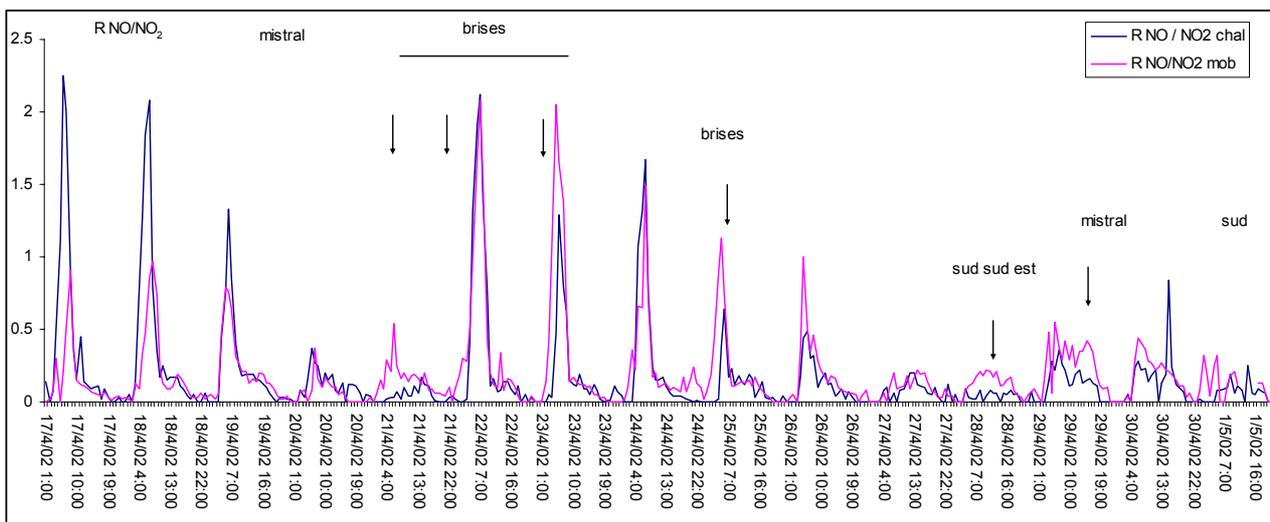
Le rapport moyen NO/NO<sub>2</sub> traduit une situation de fond, c'est-à-dire qu'il est représentatif d'un périmètre relativement large.

### Evolution des niveaux de NO<sub>2</sub> du 17/04 au 1/05/2002



L'analyse de l'évolution du **rapport NO/NO<sub>2</sub>** pendant la campagne de mesures et en fonction des conditions météorologiques vise à essayer d'identifier d'autres sources que celle liée au trafic. Un accroissement nocturne en dehors des plages liées au trafic pourrait traduire l'influence d'une autre source de combustion.

### Evolution du rapport NO/NO<sub>2</sub> sur les sites du stade et de Chalucet du 17/04 au 1/05/02



Ce graphe ne met pas en évidence une source marquée en dehors du trafic automobile.

## I-1-2- NIVEAUX DE MONOXYDE DE CARBONE - CO

Ce composé est principalement émis par les véhicules dans les situations congestionnées (feux tricolores, rues embouteillées...). Il résulte d'une combustion incomplète du combustible.

Valeurs de référence pour le CO

➤ *Décret du 15 février 2002*

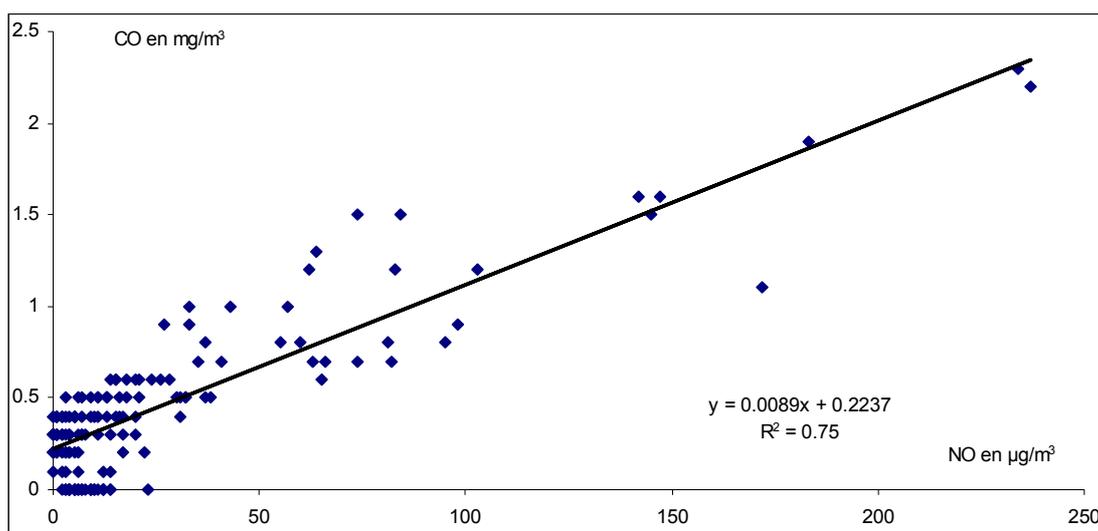
- Valeur limite sur 1 heure : 30 mg/m<sup>3</sup>
- Valeur limite sur 8 heures : 10 mg/m<sup>3</sup>.

En mg/m <sup>3</sup>	Toulon Foch	Stade Bon Rencontre
Moyenne Période	0.6	0.5
Max Horaire	2.3	3.8
Date	22/04	18/04

Les teneurs de CO sont modérées sur le site du stade Bon Rencontre. Les normes limites sont largement respectées.

Ce composé suit généralement l'évolution des autres traceurs dont l'origine est principalement liée au trafic. A noter l'excellente corrélation ( $R=0.87$ ) entre le monoxyde de carbone et le monoxyde d'azote durant cette période, qui traduit largement l'influence dominante du trafic dans leur évolution, y compris sur le site du stade.

### Nuage de points des données horaires réalisé sur la période du 16/04 au 1/05/2002



### I-1-3- LES PM10 (CONCENTRATION MASSIQUE DES PARTICULES < 10 µm)

Les particules en suspension inférieures à 10 µm constituent la fraction inhalable. Ces particules sont émises par de nombreuses activités : transport, industrie, érosion naturelle. Pour information, les particules rejetées par les véhicules diesels sont inférieures à 1 µm. En situation urbaine, les PM10 sont majoritairement émises par le transport.

Valeurs de référence pour les PM10

➤ Décret du 15 février 2002

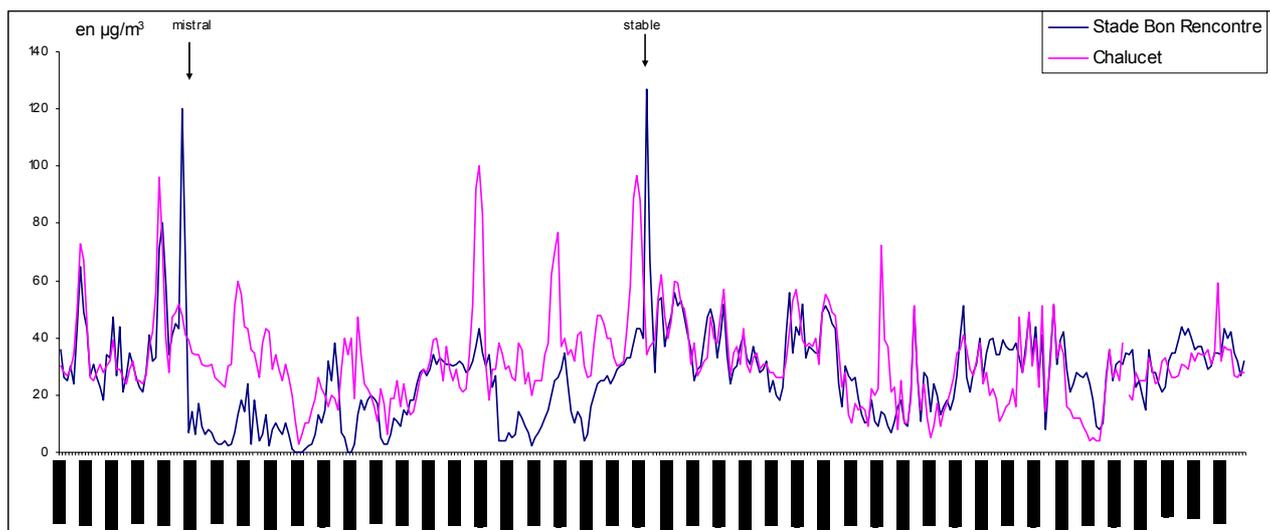
- Valeur limite sur 24 heures : 50 µg/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (applicable au 1<sup>er</sup> janvier 2005)
- Valeur limite annuelle : 40 µg/m<sup>3</sup> (applicable au 1<sup>er</sup> janvier 2005).
- Objectif de qualité annuel : 30 µg/m<sup>3</sup>.

Tableau récapitulatif des niveaux mesurés pendant la campagne et estimation des teneurs annuelles

		Stade Bon Rencontre	Chalucet	Lafayette	Foch	Seyne sur Mer
Moyenne	P1	27	32	31	40	30
	2002	25 *	29	30	/	31
	R P1/2002	1.07 **	1.11	1.02	/	
	Coef de corrélation	1.00	0.45	0.51	0.36	0.34
Max H	P1	127	100	97	130	115
	2002	non déterminé	222	211		359
Max J	P1	45	51	48	63	47
	Date	24-avr	24-avr	24-avr	24-avr	24-avr
	2002	non déterminé	90	90	/	92
nb j > 50 µg/m <sup>3</sup>	P1	0	1	0	2	0
	P2002	< 35 J	20	23	probablement > 35 J	30

\* estimation ; \*\* R moyen

Evolution des niveaux de PM10 du 16/04 au 1/05 sur les sites de Chalucet et du stade Bon Rencontre



Ce graphique montre la différence de comportement entre les deux sites durant la période de mesure, en particulier pendant la première période. Cette différence de comportement est bien traduite par le coefficient de corrélation  $R = 0.45$  entre ces deux sites. L'évaluation de la moyenne annuelle est

indicative. La valeur limite européenne ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'échéance 2005) et l'objectif de qualité français semblent néanmoins respectés.

Le seuil de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24 heures n'a pas été atteint sur le site du stade pendant la campagne de mesures (max :  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), alors qu'il a été enregistré à deux reprises sur l'avenue Foch et à Chalucet ( max :  $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 24/04).

Le risque de dépasser la tolérance européenne de 35 jours sur le site du stade est faible, si l'on se réfère aux résultats enregistrés sur les sites permanents de fond en 2002 (de 20 à 30 dépassements). A noter que ce seuil de tolérance est potentiellement dépassé sur le site trafic de l'avenue Foch.

Partout, les maximums journaliers ont été enregistrés le 24 avril (situation météorologique particulièrement stable).

Les niveaux enregistrés sur le site du stade sont généralement inférieurs à ceux du site de Chalucet. Les écarts les plus importants sont relevés en situations de mistral (du 19 au 23 avril), période pendant laquelle les niveaux de PM10 sur le stade sont particulièrement faibles.

Deux pointes remarquables sont relevées sur le site du stade :

- Le 18/04 à 14h00 TU (mistral fort 8 m/s),
- Le 24/04 à 11 H TU (conditions météorologiques stables) – ce jour là l'ensemble des sites a enregistré le maximum de la période.

L'influence de l'IUOM sur ce paramètre global est difficile à mettre en évidence. Rappelons que les simulations effectuées par l'INERIS indiquaient un gain de l'ordre de  $0.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle et que le niveau annuel estimé est de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Même si les premiers travaux de modélisation ne constituent qu'un ordre de grandeur, la part de l'UIOM dans les PM10 est *a priori* très faible (de l'ordre de 1 % de contribution).

## I-1-4- LE DIOXYDE DE SOUFRE – SO<sub>2</sub>

Ce composé est un indicateur de la combustion des fiouls et du charbon. Il trace généralement les activités industrielles.

---

Valeurs de référence pour le SO<sub>2</sub>

➤ *Décret du 15 février 2002*

- **Objectif de qualité annuel : 50 µg/m<sup>3</sup>**
- **Valeur limite horaire à ne pas dépasser plus de 24h/an : 350 µg/m<sup>3</sup>.**

---

Pour des raisons techniques, les données de dioxyde de soufre sont uniquement disponibles pour la période du 17 au 22 avril 2002.

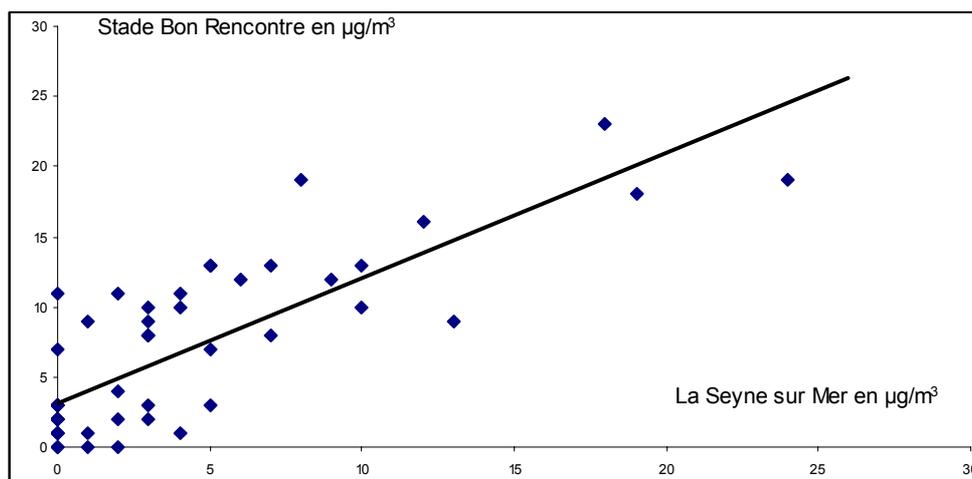
**Tableau récapitulatif des niveaux relevés pendant la période du 17 au 22 avril 2002**

En µg/m <sup>3</sup>		Stade Bon Rencontre	Seyne sur Mer	Arsenal
Moyenne	Période	4	5	5
	Année	< 50	5	5
Maximum horaire	Période	26	35	40
	Année	< 350	142	123

Les niveaux de dioxyde de soufre sont faibles au stade comme sur le reste de l'agglomération toulonnaise. Les références réglementaires sont très nettement respectées.

La bonne corrélation entre le site du stade et celui de la Seyne sur Mer traduit une influence homogène de sources diffuses. Aucune pointe remarquable qui pourrait être attribuée à l'activité de l'UIOM n'a été relevée pendant la période de mesure.

**Nuage de points des niveaux horaires de SO<sub>2</sub> site du stade et de la Seyne sur Mer**

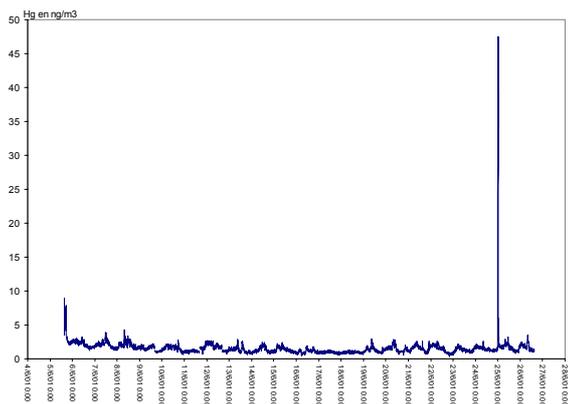


## I-1-5- LE MERCURE GAZEUX - Hg

Les mesures de mercure gazeux ont été effectuées par l'INERIS avec un analyseur automatique de marque TEKRAN. Ces mesures ont été réalisées :

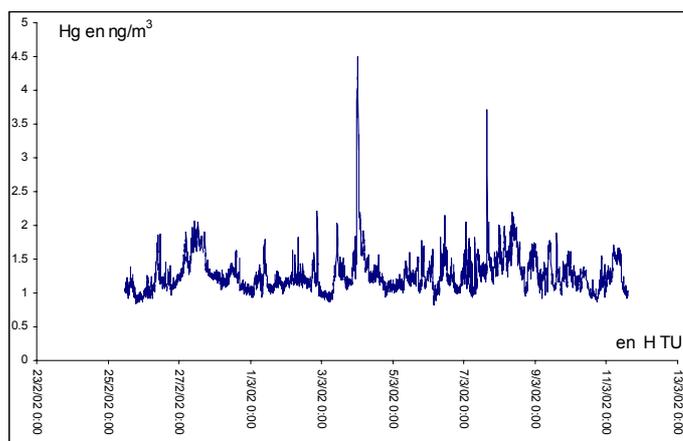
- 5/06 au 03/07/2001 – Collège de la Marquisane à 1000 mètres au Nord de l'Usine (proche de l'Ecole de la Tauriac),
- 24/02 au 12/03/2002 – Stade Bon Rencontre.

Les niveaux moyens mesurés pendant les deux campagnes de mesures sont faibles en moyenne très nettement inférieur au projet de valeur cible européen ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$ ).



### Evolution du mercure gazeux sur le site du collège de la Marquisane du 5 au 27 juin 2001

$1.6 \text{ ng}/\text{m}^3$  en 2001 (maximum  $45 \text{ ng}/\text{m}^3$  le 25/06 vers 00h),



### Evolution du mercure gazeux sur le site du stade Bon Rencontre du 24/02 au 12/03/2002

Le niveau moyen mesuré est de  $1.2 \text{ ng}/\text{m}^3$  en 2002 (maximum :  $4.5 \text{ ng}/\text{m}^3$  le 4 mars vers 00h00).

La pointe enregistrée le 25 juin 2001 au Collège de la Marquisane est compatible avec l'influence de l'UIOM, car ce composé est a priori émis par peu d'activités et le vent était orienté au Sud. Une telle pointe n'a pas été relevée en 2002, sur le site du stade, ce qui rend difficile la confirmation de cette hypothèse.

## II- NIVEAUX DE METAUX LOURDS DANS LA FRACTION DES PM10

Ces composés cumulatifs, généralement en phase particulaire dans l'air ambiant, sont surtout émis par les activités industrielles.

---

Valeurs de référence pour le plomb (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni)

➤ *Décret du 15 février 2002*

- **Valeur limite annuelle pour le plomb** : 500 ng/m<sup>3</sup>

➤ *Projet de valeur cible européen*

- **Nickel** : 20 ng/m<sup>3</sup>/an
- **Cadmium** : 5 ng/m<sup>3</sup>/an
- **Arsenic** : 6 ng/m<sup>3</sup>/an
- **Mercur**e : 50 µg/m<sup>3</sup>/an

**Concernant les autres composés mesurés pendant la campagne notamment l'aluminium aucune norme n'existe actuellement.**

---

Les niveaux de métaux lourds dans la fraction des PM10 (particules inférieures à 10 µm) ont été analysés par le CEREGE et l'INERIS.

Les prélèvements ont été effectués sur les deux sites prédéterminés par les travaux préliminaires : sites du stade Bon rencontre à l'Est et de l'école de la Tauriac au Nord. Le prélèvement est de 24 heures.

Pour le CEREGE, les prélèvements se sont déroulés :

- du 13/02 au 2/07/2002 au stade (P<sub>stade</sub>),
- du 21/03 au 2/07/2002 à l'école (P<sub>école</sub>).

Les prélèvements ont donc été réalisés simultanément sur les deux **sites du 21 mars au 2 juillet**.

Pour l'INERIS, des mesures complémentaires ont été réalisées du **13 au 26 février 2002**. Ces mesures ont permis d'effectuer **une intercomparaison** sur quelques composés et d'apporter des informations pour d'autres.

L'analyse suivante présente les résultats de l'intercomparaison, suivi des niveaux mesurés par les deux laboratoires par composés. Les niveaux moyens et maximaux mesurés sont ensuite comparés avec des **références normatives et des résultats de travaux précédents**. Les quatre composés visés par l'union européenne (Pb, Ni, Cd, As) seront traités en priorité.

Un deuxième volet porte sur l'évaluation des liens entre les divers composés analysés et entre les deux sites échantillonnés. Une analyse statistique sommaire propose de déterminer des pistes pour la détermination d'un traceur de l'activité UIOM, qui fait l'objet d'un travail beaucoup plus conséquent dans le cadre de la thèse développée au CEREGE par Martine Lefloch sous la direction du Directeur de recherche Yves Noack (financement ADEME).

Cette étape est réalisée à travers le calcul des **coefficients de corrélation linéaire** entre les deux sites pour un même composé et sur un même site entre les divers composés analysés. Ensuite, les situations remarquables (fort écart par exemple entre les deux sites pour une même journée) sont étudiées à la lumière **des conditions météorologiques** fournies par la station Météo-France de Toulon-La Mître.

## II-1- Analyse des résultats

L'intercomparaison des mesures réalisées par le CEREGE et l'INERIS a été effectuée pendant la période du 13 au 26 février 2002 sur le site du stade Bon rencontre.

Rappelons que les méthodes de prélèvement et d'analyse utilisées par les deux laboratoires étaient totalement différentes. En particulier, les modes de prélèvements :

- CEREGE – préleveur Partisol bas débit (1 m<sup>3</sup>/h) configuré avec une tête de coupure PM10
- INERIS – préleveur DA80 haut débit (30 m<sup>3</sup>/h) configuré avec une tête de coupure PM10

	INERIS	CEREGE	Coefficient de corrélation	Commentaire
<b>PM10</b> En µg/m <sup>3</sup>	27	19	0.7	Concentration supérieure mesurée par l'INERIS, mais l'ordre de grandeur reste le même et la corrélation entre les deux mesures est satisfaisante
<b>Cd en ng/m<sup>3</sup></b>	0.7	0.6	0.83	Bonne concordance
<b>Pb en ng/m<sup>3</sup></b>	12	8	0.9	Bonne concordance
<b>Cr en ng/m<sup>3</sup></b>	1.8	83	-0.03	Problème métrologique
<b>Mn en ng/m<sup>3</sup></b>	5	19	0.49	Ecart conséquent, mais même ordre de grandeur, mauvaise corrélation
<b>Ti en ng/m<sup>3</sup></b>	5	6	0.67	Bonne concordance
<b>Cu en ng/m<sup>3</sup></b>	12	15	0.72	Bonne concordance
<b>Ni en ng/m<sup>3</sup></b>	3	89	0.08	Problème métrologique
<b>Zn en ng/m<sup>3</sup></b>	47	80	0.30	Ecart conséquent, mais même ordre de grandeur, mauvaise corrélation
<b>V en ng/m<sup>3</sup></b>	3.5	4.8	0.97	Bonne concordance

Cette intercomparaison effectuée sur 13 échantillons par composé et par laboratoire montre des concordances satisfaisantes pour cinq composés (Cd, Pb, Ti, Cu, V). Trois autres paramètres montrent des écarts significatifs, sans doute liés aux différences de méthode, mais les ordres de grandeurs sont respectés (PM10, Mn, Zn). Deux paramètres indiquent des problèmes métrologiques marqués (Cr et Ni). Le laboratoire du CEREGE indique des problèmes de mises au point analytique, pour ces composés particulièrement délicats à analyser. Pour l'analyse du Cr et du Ni par rapport aux normes, se seront les résultats de l'INERIS qui seront utilisés.

Au-delà des résultats, cette intercomparaison montre bien la difficulté d'analyser ces composés dans les particules atmosphériques, où ils sont présents à l'état d'ultra trace.

## II-2- Résultats des analyses de métaux lourds particulières par laboratoire

### II-2-1- NIVEAUX MESURES PAR LE CEREGE SUR LES SITES DU STADE BON RENCONTRE ET DE L'ÉCOLE DE LA TAURIAC

Compte tenu des résultats de l'intercomparaison, les niveaux de nickel et de chrome ne sont pas intégrés dans le tableau de résultat.

#### NIVEAUX DE PM10 ET DE METAUX PARTICULAIRES DANS CETTE FRACTION GRANULOMETRIQUE

**P<sub>stade</sub> : du 13/02 au 2/07/2002**

**P<sub>ecole</sub> : du 21/03 au 2/07/2002**

		Moyenne	Max	Coef corrélation - R
PM10 En µg/m <sup>3</sup>	Stade Bon Rencontre	26	50	0.94
	Ecole Tauriac	24	49	
Cd * cadmium	Stade Bon Rencontre	0.7	10.2	0.76
	Ecole Tauriac	0.7	12.8	
Pb * plomb	Stade Bon Rencontre	8.5	46.2	0.24
	Ecole Tauriac	7.7	80.7	
Mn * manganèse	Stade Bon Rencontre	20.8	66.5	0.13
	Ecole Tauriac	16.8	55.4	
V * vanadium	Stade Bon Rencontre	7.0	43.6	0.85
	Ecole Tauriac	5.2	17.7	
Ba * baryum	Stade Bon Rencontre	9.6	50.3	0.42
	Ecole Tauriac	5.7	20.4	
Ti * titane	Stade Bon Rencontre	5.5	39.0	0.70
	Ecole Tauriac	6.5	38.3	
Cu * cuivre	Stade Bon Rencontre	26	84.3	0.18
	Ecole Tauriac	12	52.2	
Al * Aluminium	Stade Bon Rencontre	200	1213.5	0.69
	Ecole Tauriac	235	1083.0	
Zn * Zinc	Stade Bon Rencontre	92	379.9	0.14
	Ecole Tauriac	64	239.0	
Mg * Magnésium	Stade Bon Rencontre	159.6	499.9	0.97
	Ecole Tauriac	165.0	503.5	
K * Potassium	Stade Bon Rencontre	121.5	929.9	0.22
	Ecole Tauriac	132.0	349.4	
Na * Sodium	Stade Bon Rencontre	1118.0	5238.0	0.95
	Ecole Tauriac	1073.2	4717.7	
Ca * Calcium	Stade Bon Rencontre	1213.6	4826.3	0.87
	Ecole Tauriac	1400.8	5329.5	
Fe * Fer	Stade Bon Rencontre	762.5	3001.1	0.20
	Ecole Tauriac	530.5	2638.1	

\* En ng/m<sup>3</sup>

**II-2-2- NIVEAUX MESURES PAR L'INERIS SUR LES SITES DU STADE BON RENCONTRE –  
PERIODE DU 13 AU 26 FEVRIER 2003**

**Tableau récapitulatif des résultats fournis par l'INERIS pour la période du 13 au 26 février  
2003 sur le site du stade Bon Rencontre**

* en ng/m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	<b>Maximum journalier</b>
<b>PM10 en µg/m<sup>3</sup></b>	27	48
<b>Cd*</b> <b>Cadmium</b>	0.7	1.7
<b>Pb*</b> <b>Plomb</b>	12	30
<b>Cr*</b> <b>Chrome</b>	1.8	3.8
<b>Mn*</b> <b>Manganèse</b>	5	13
<b>Ti*</b> <b>Titane</b>	5	14
<b>Cu*</b> <b>Cuivre</b>	12	31
<b>Ni*</b> <b>Nickel</b>	3.2	11
<b>Zn*</b> <b>Zinc</b>	47	176
<b>V*</b> <b>Vanadium</b>	3.5	10.02
<b>Co*</b> <b>Cobalt</b>	0.2	0.57
<b>Se*</b> <b>Sélénium</b>	0.2	0.33
<b>As*</b> <b>Arsenic</b>	0.1	0.3
<b>Sn*</b> <b>Strontium</b>	1.2	3.3
<b>Sb*</b> <b>Antimoine</b>	1.3	5.2

### III- ANALYSE DES RESULTATS PAR COMPOSE

#### III-1- Plomb (Pb)

##### III-1-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les teneurs de plomb enregistrées par le CEREGE sur les deux sites sont comparables et modérées, environ **8 ng/m<sup>3</sup>**. La concentration évaluée par l'INERIS sur le site du stade Bon Rencontre est proche (**12 ng/m<sup>3</sup>**). Cette concentration respecte très nettement la valeur limite européenne annuelle et la valeur guide de l'OMS de **500 ng/m<sup>3</sup>**.

La comparaison avec d'autres campagnes de mesures réalisées par Airmaraix indique que ces concentrations sont proches des niveaux de fond des villes hors influence locale. A titre d'exemple, le site de Marseille Escalette est influencé par des émissions locales : 27 ng/m<sup>3</sup>.

**Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures**

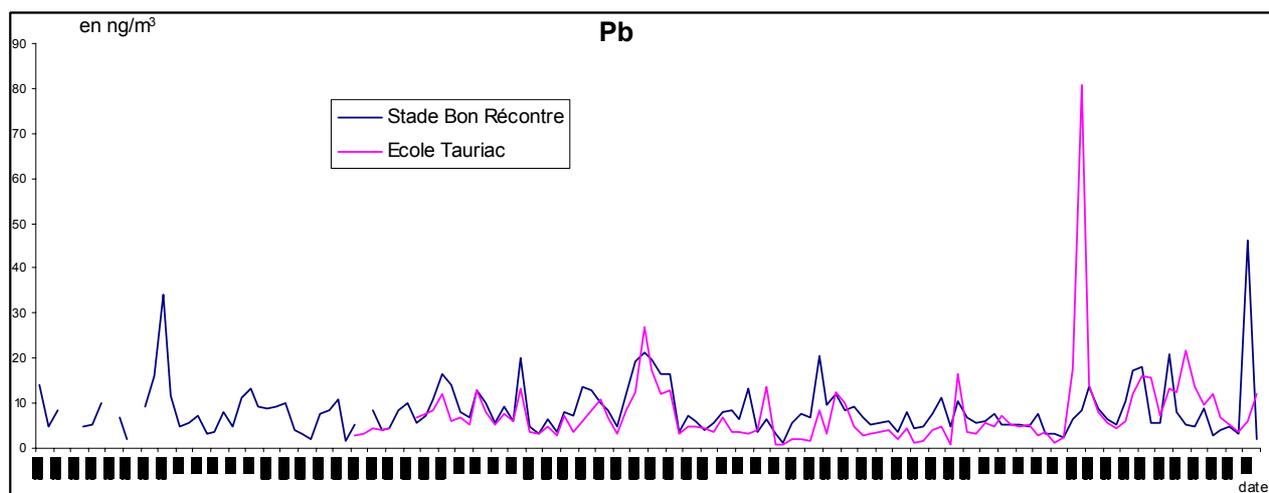
	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Campagne Marseille Aix 2000	Marseille Saint- Louis 2002	Marseille Escalette 2003	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	De 6.7 à 7.7 (7.1 au Stade Bon rencontre)	4.6 à 17	23	27	6.9 à 9.5

##### III-1-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

###### Niveaux de pointe

L'évolution des niveaux de plomb sur les deux sites échantillonnés est assez proche, mises à part quelques journées remarquables. Ces points atypiques engendrent une mauvaise corrélation linéaire – R = 0.24.

**Evolution des niveaux de plomb du 13/02 au 02/07/2002**



L'analyse des conditions météorologiques de ces journées laisse apparaître une légère tendance :

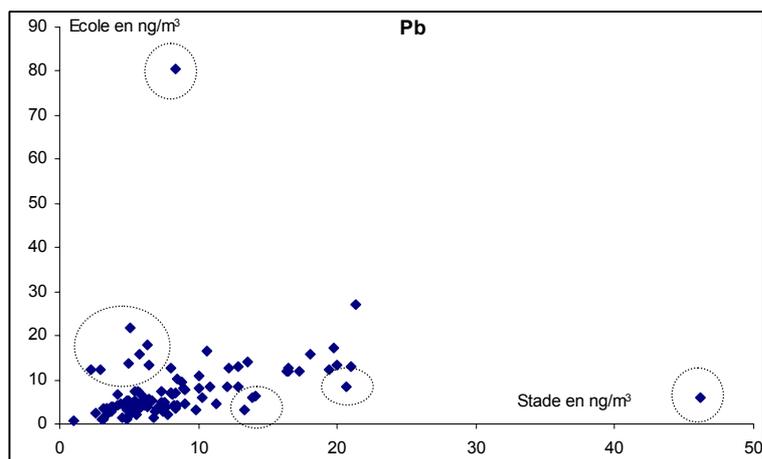
- Niveaux supérieurs au stade à ceux de l'école par mistral et régime de brises
- Niveaux inférieurs au stade à ceux de l'école par flux de Est, Sud et régime de brises.

Ce comportement pourrait être attribué en partie à l'influence de l'UIOM.

A noter deux journées atypiques :

- le 1/07 avec un flux de Sud et des teneurs plus élevées au stade,
- le 25/06 avec un régime de mistral (niveaux supérieurs à l'école).

Dans ces conditions, l'influence de l'UIOM est a priori non significative.



**Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période**

### Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
1/04	14.06	6.2	Stade > école	Brises
16/04	13.85	6.13	Stade > école	Mistral établi
5/05	13.33	3.30	Stade > école	Mistral établi
13/05	20.63	8.31	Stade > école	Ouest puis Sud Est
1/07	46.20	5.93	Stade > école	Flux de Sud
7/05	6.49	13.53	Stade < école	Est Sud Est
12/06	8.33	80.68	Stade < école	Sud
20/06	5.80	15.87	Stade < école	Brises Ouest
24/06	5.14	21.77	Stade < école	Brises
25/06	4.97	13.84	Stade < école	Brises
27/06	2.99	12.23	Stade < école	Sud Sud Est
2/07	2.21	12.21	Stade < école	Mistral

## III-2- Cadmium (Cd)

### III-2-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

#### Niveaux moyens

Les niveaux de cadmium relevés par le CEREGE sur les deux sites échantillonnés sont comparables et modérés : **0.7 ng/m<sup>3</sup>**. Les teneurs évaluées par l'INERIS sur une période plus courte au stade Bon Rencontre sont similaires.

Ces teneurs sont plus de cinq fois inférieures au projet de valeur de référence européenne annuelle **de 5 ng/m<sup>3</sup>**. La recommandation de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) est également de 5 ng/m<sup>3</sup>/an).

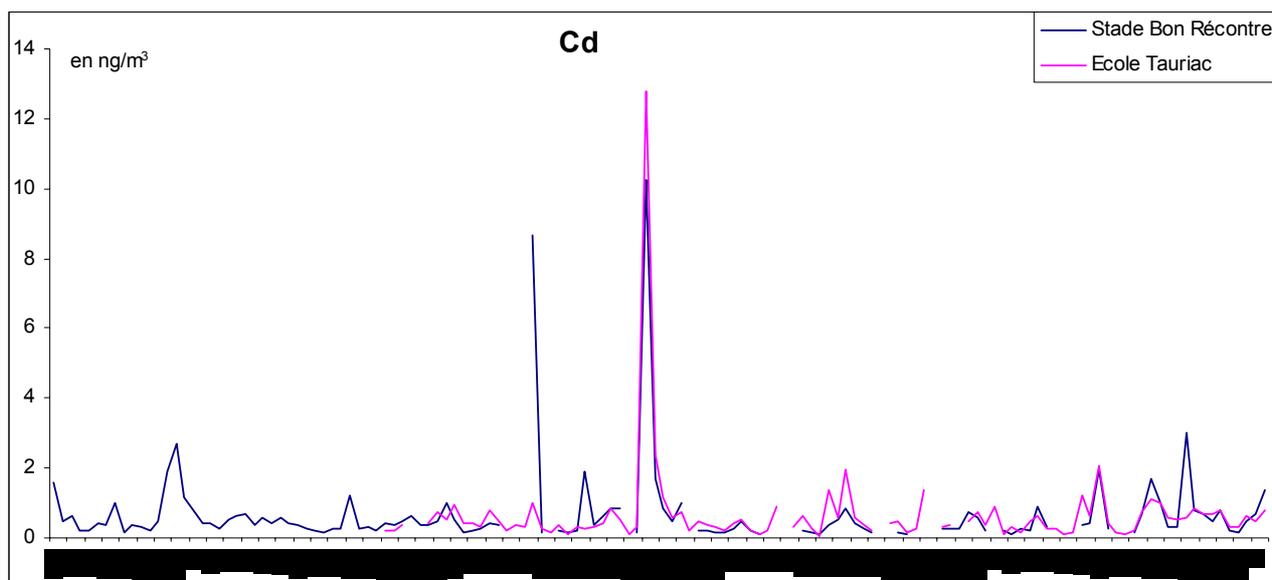
La comparaison avec d'autres campagnes de mesures réalisées par Airmarais indique que ces concentrations sont proches des niveaux de fond des villes hors influence locale. A titre d'exemple, les sites de Marseille Saint-Louis et Marseille Escalette sont clairement influencés par des émissions locales, respectivement 1.2 et 2.8 ng/m<sup>3</sup>.

**Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures**

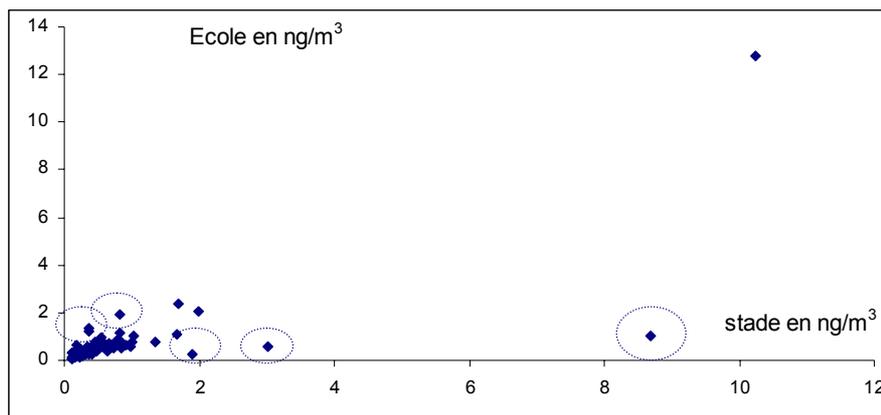
	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Campagne Marseille Aix 2000	Marseille Saint- Louis 2002	Marseille Escalette 2003	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	De 0.24 à 0.58 (0.58 mesurés au stade Bon rencontre)	0.2 à 2.1	1.2	2.8	0.5 à 0.9

### III-2-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

#### Evolution des niveaux de cadmium du 13/02 au 02/07/2002



## Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période P<sub>école</sub>



On constate une relativement bonne corrélation linéaire (0.76) entre les deux sites. Quelques points remarquables sont néanmoins présentes.

### Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
9/04	8.7	1.0	<b>Stade &gt; école</b>	brises
15/04	1.90	0.27	<b>Stade &gt; école</b>	Mistral modéré
23/06	3.02	0.57	<b>Stade &gt; école</b>	brises
13/05	0.83	1.93	<b>Stade &lt; école</b>	Ouest puis Sud Est
15/05	0.36	1.22	<b>Stade &lt; école</b>	Sud Est

Cette analyse sommaire montre que les deux sites sont généralement bien liés ( $R = 0.76$ ). Quelques points remarquables (peu nombreux) ont été identifiés avec des écarts de concentration entre les sites significatifs.

Ces quelques journées laissent apparaître que les plus gros écarts constatés sont enregistrés :

- en régime de **brises** lorsque les teneurs sont supérieures au stade par rapport à ceux de l'école,
- en régime de **sud Est** lorsque le facteur d'enrichissement relatif est plus élevé à l'école.

Les conditions météorologiques relevées le jour de ces écarts sont compatibles avec l'influence de l'UIOM. Même si le faible nombre d'occurrences de ces épisodes ne permet pas de pousser plus avant l'analyse à ce stade.

## III-3- Nickel (Ni)

### III-3-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux de nickel analysés sont ceux fournis par l'INERIS. Ils concernent une période courte (13 jours) et uniquement le stade Bon rencontre.

Le niveau évalué sur le site du stade (**3.2 ng/m<sup>3</sup>**) est faible au regard du projet de valeur cible européenne (**20 ng/m<sup>3</sup>/an**).

Aucune pointe significative n'a été relevée pendant la campagne (maximum : **11 ng/m<sup>3</sup>**).

### Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures

	Campagne Marseille Aix 2000	Marseille Saint-Louis 2002	Marseille Escalette 2003	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	6 à 11	10	7	6

Les niveaux mesurés sur le stade sont comparables à ceux enregistrés sur d'autres sites.

Compte tenu du faible nombre de données (13 jours) et de l'absence de valeur élevée remarquable, le lien éventuel avec une source n'est pas proposé.

## III-4- Arsenic (As)

### III-4-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

La concentration moyenne d'arsenic mesurée par l'INERIS (**0.1 ng/m<sup>3</sup>**) pour la période du 13 au 26 février 2002 est très nettement inférieure au projet de valeur cible européen (6 ng/m<sup>3</sup>/an). Le niveau maximum est également faible avec **0.3 ng/m<sup>3</sup>**.

A titre de comparaison, la concentration moyenne annuelle sur le site urbain marseillais de Saint-Louis est de 2 ng/m<sup>3</sup> en 2001 et 2002.

Compte tenu du faible nombre de données (13 jours) et de l'absence de valeur élevée remarquable, le lien éventuel avec une source n'est pas proposé.

## III-5- Manganèse (Mn)

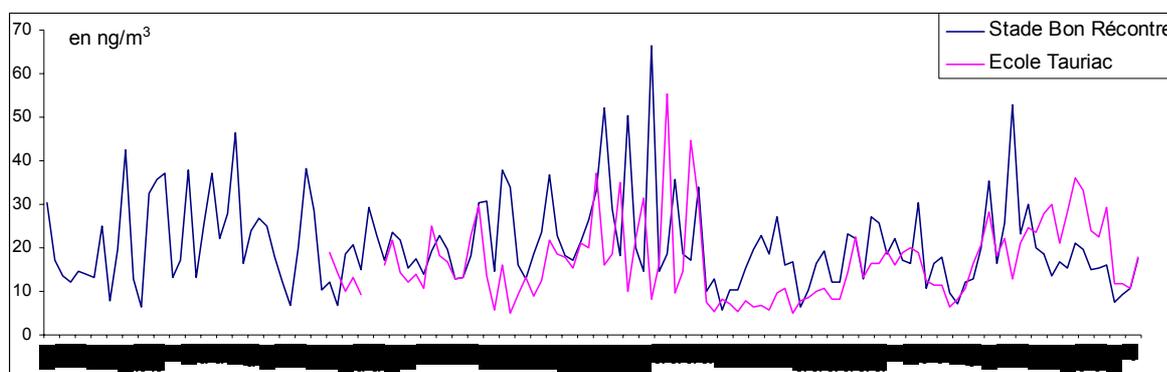
### III-5-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux de manganèse fournis par le CEREGE sont comparables, respectivement **20.8 et 16.8 ng/m<sup>3</sup>** au stade et à l'école. La concentration évaluée par l'INERIS sur le stade est **de 5 ng/m<sup>3</sup>**.

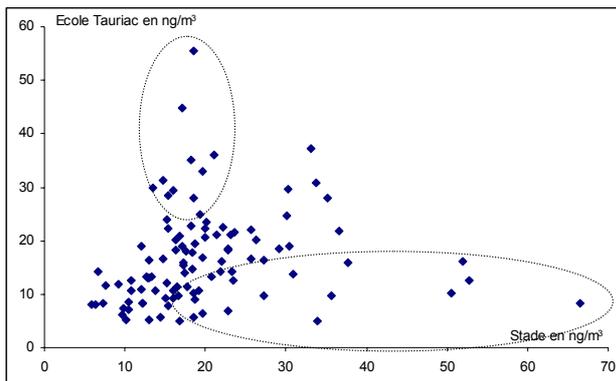
La valeur guide annuelle est proposée par l'OMS est **de 150 ng/m<sup>3</sup> par an**. Cette valeur est très nettement respectée.

### III-5-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

#### Evolution des niveaux de manganèse du 13/02 au 02/07/2002



## Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période



Les variations de manganèse semblent fortement déconnectées des émissions de l'UIOM, car les conditions météorologiques enregistrées les jours où les différences entre les deux sites sont significatives sont très variables.

## Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		Météorologie
10/04	30.83	13.71	Stade > école	Sud Est
12/04	37.71	16.01	Stade > école	Brises
13/04	33.96	5.01	Stade > école	Brises
16/04	18.65	8.91	Stade > école	Mistral
17/04	23.44	12.60	Stade > école	Brises
25/04	51.98	16.15	Stade > école	Brises
28/04	50.52	10.17	Stade > école	Brises
1/05	66.46	8.27	Stade > école	Sud Est
4/05	35.63	9.71	Stade > école	Mistral
14/05	19.58	6.41	Stade > école	Brises
16/05	18.54	5.66	Stade > école	Sud Sud Est
19/05	16.77	5.07	Stade > école	Mistral
16/06	52.81	12.68	Stade > école	Brises
27/04	18.23	35.08	Stade < école	Mistral
30/04	14.69	31.36	Stade < école	Mistral puis Sud Est
3/05	18.54	55.40	Stade < école	Brises
6/05	17.08	44.73	Stade < école	Brises
20/06	18.48	27.87	Stade < école	Brises
21/06	13.42	29.91	Stade < école	Brises
23/06	15.35	28.35	Stade < école	Brises
24/06	21.14	36.09	Stade < école	Brises
25/06	19.58	33.04	Stade < école	Mistral

28/06	15.93	29.38	Stade < école	Mistral
-------	-------	-------	---------------	---------

### III-6- Fer (Fe)

#### III-6-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

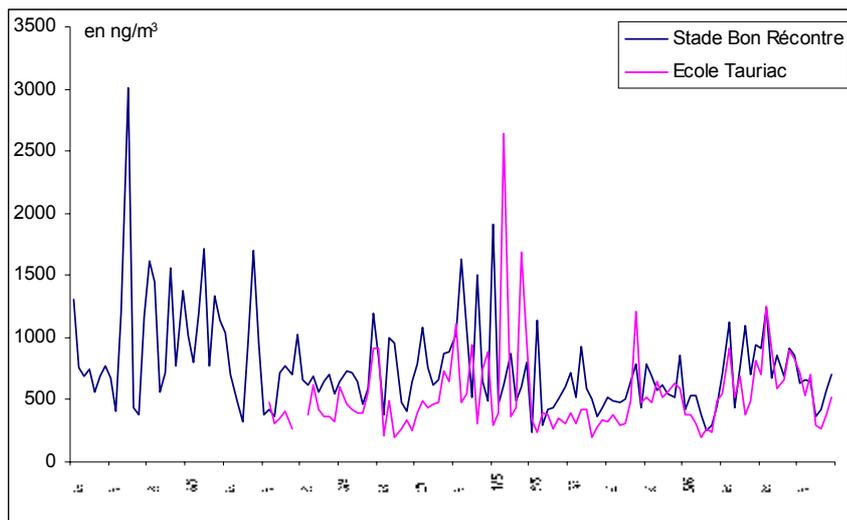
Les niveaux de fer dans la fraction des PM10 sont plus élevés sur le site du stade qu'à l'école, respectivement **762.5 ng/m<sup>3</sup>** (max : 3001.1 ng/m<sup>3</sup>) et **530.5 ng/m<sup>3</sup>** (2638.1 ng/m<sup>3</sup>).

**Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures**

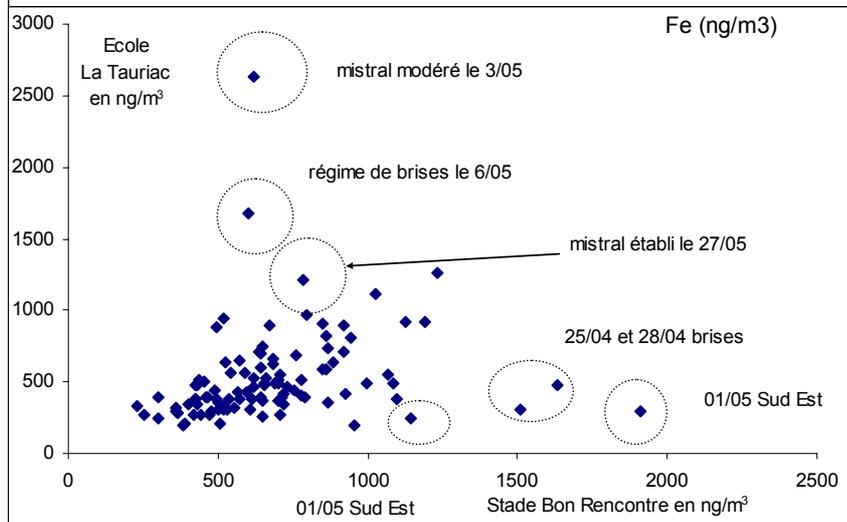
	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Campagne Marseille Aix 2000	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	349-375.4 (375.4 mesurés au stade Bon rencontre)	418-637	395.1-716.1

Les concentrations enregistrées en 2002 indiquent sans doute l'influence d'une activité source sur le site du stade, avec des niveaux proches de ceux relevés pendant la campagne à Gardanne en 2003 sur un site influencé par ce composé. La corrélation entre les deux sites est faible (0.2).

#### III-6-2- Evaluation du lien potentiel avec l'activité de l'UIOM ou d'autres sources



**Evolution du fer sur les sites stade et école du 13/02 au 2/07/2002**



**Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période**

## Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
25/04	1633.75	473.46	Stade > ecole	Brises
28/04	1507.29	311.18	Stade > école	brises
1/05	1913.23	292.14	Stade > école	Sud Est
3/05	620.00	2638.10	Stade < école	Brises
6/05	603.44	1682.79	Stade < école	Brises
27/05	784.90	1212.83	Stade < école	mistral

L'analyse des points remarquables ne montre pas de tendance nette.

## III-7- Vanadium (V)

### III-7-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux de vanadium fournis par le CEREGE sont comparables, respectivement **7.0 et 5.2 ng/m<sup>3</sup>** au stade et à l'école. Ce composé ne fait pas l'objet de référence normative. La concentration mesurée par l'INERIS est comparable avec **3.2 ng/m<sup>3</sup>**.

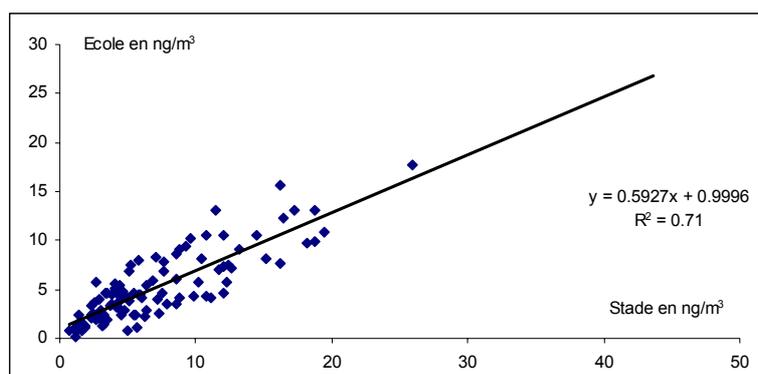
La valeur guide de l'OMS est de **1000 ng/m<sup>3</sup>** sur 24 heures à comparer aux **44 ng/m<sup>3</sup>** (maximum mesuré sur l'aire d'étude toutes mesures confondues).

### Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures

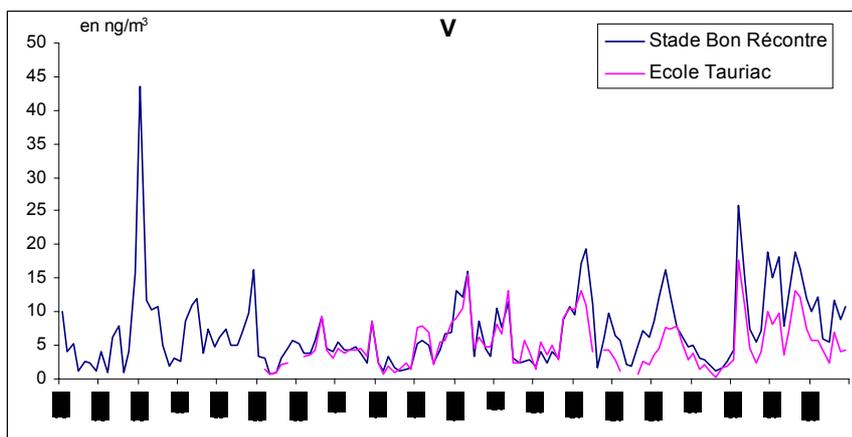
	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Campagne Marseille Aix 2000	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	De 6.9 à 8.4 (7.4 mesurés au stade Bon rencontre	10.5 à 15.4	9.1 à 11.3

### III-7-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

L'évolution des teneurs de vanadium sur les deux sites est bien corrélée (R = 0.85). La participation de l'UIOM ne peut donc pas être mise en évidence.



### Nuage de point des niveaux journaliers établi sur la période



**Evolution des niveaux de vanadium du 13/02 au 02/07/2002**

### III-8- Titane (Ti)

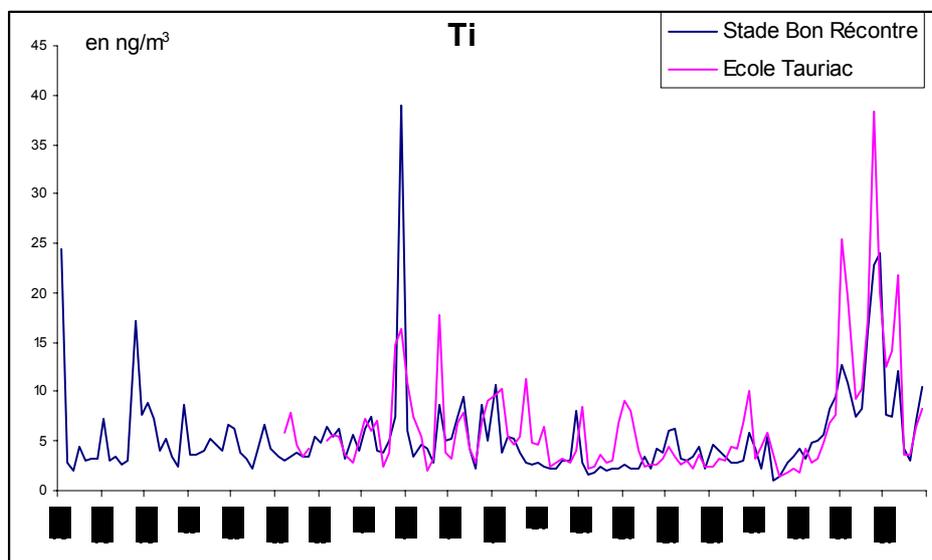
#### III-8-1 COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux moyens et les maxima enregistrés sur les deux sites sont très proches (environ  $6 \text{ ng/m}^3$  en moyenne et  $38\text{-}39 \text{ ng/m}^3$  pour le maxima journalier).

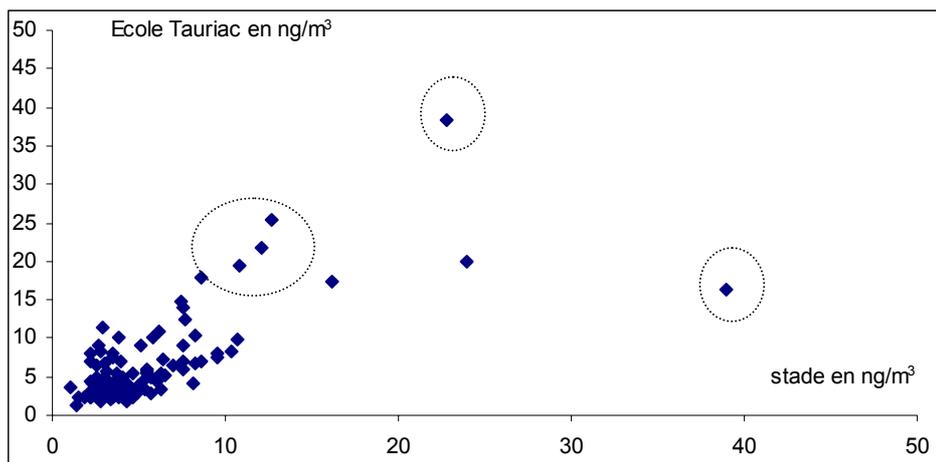
Les deux sites sont généralement bien corrélés, même si l'on peut relever quelques journées atypiques.

#### III-8-2- Evaluation du lien potentiel avec l'activité de l'UIOM ou d'autres sources

#### Evolution des niveaux de titane du 13/02 au 02/07/2002



## Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période



### Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
9/04	38.9	16.30	Stade > école	brises
29/04	2.92	11.3	Stade < école	Mistral
24/06	23	38	Stade < école	Brises
28/06	12	21.7	Stade < école	Mistral
19/06	12.7	25.4	Stade < école	Brises

Les points remarquables sont peu compatibles avec l'influence de l'UIOM.

## III-9- Aluminium (Al)

### III-9-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux d'aluminium mesurés sur les deux sites sont comparables (**200.3 et 234.8 ng/m<sup>3</sup>**), ainsi que leur maxima (**1213.5 ; 1083.0 ng/m<sup>3</sup>**).

#### Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures

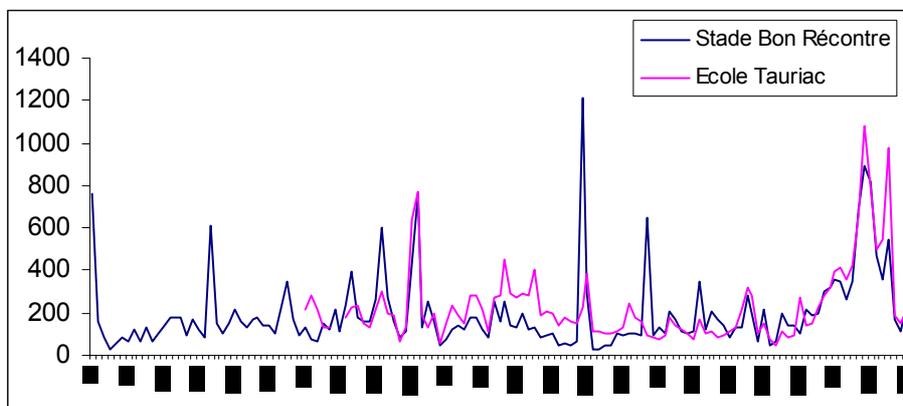
	Campagne Marseille Aix 2000	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	107-241	571.0 à 1629.0

Ces teneurs sont comparables à celles mesurées en 2000 durant une campagne exploratoire sur différents sites de Marseille et Aix en Provence. Ils sont nettement inférieurs à une situation fortement influencée illustrée par les niveaux indiqués pour la campagne de Gardanne.

### III-9-2- Evaluation du lien potentiel avec l'activité de l'UIOM ou d'autres sources

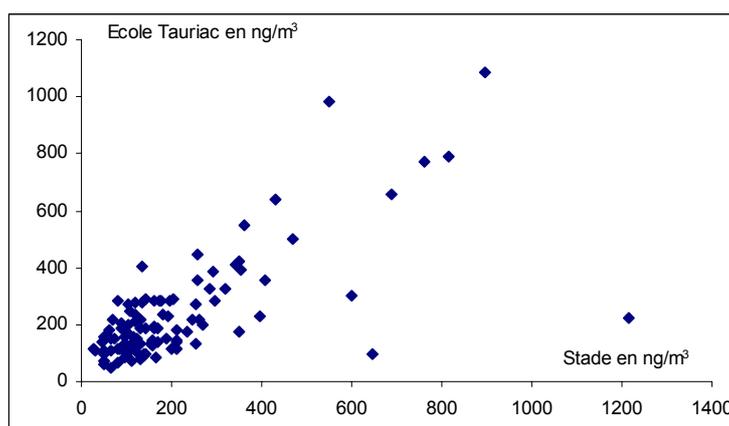
La corrélation entre les deux sites est relativement bonne ( $R=0.69$ ) avec néanmoins des points remarquables relevés dans des situations bien déterminées.

Est-Sud-Est les niveaux sont plus élevés sur le stade qu'à l'école et par mistral, c'est l'école qui relève les concentrations les plus fortes. Ces situations bien tranchées ne peuvent pas être liées aux rejets de l'UIOM, qui influence ces sites dans les situations météorologiques inverses.



**Evolution des niveaux d'aluminium du 13/02 au 02/07/2002**

#### Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période



#### Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
<b>3/04</b>	601.46	303.65	<b>Stade &gt; école</b>	Sud Est
<b>7/05</b>	1213.49	223.10	<b>Stade &gt; école</b>	Est
<b>18/05</b>	644.90	95.90	<b>Stade &gt; école</b>	Est
<b>29/04</b>	133.41	401.00	<b>Stade &lt; école</b>	Mistral
<b>28/06</b>	548.23	980	<b>Stade &lt; école</b>	Mistral

### III-10- Calcium (Ca)

#### III-10-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux de calcium sur les deux sites sont relativement proches (1213.6-1400.8 ng/m<sup>3</sup> en moyenne) et (4826.3-5329.5 ng/m<sup>3</sup>).

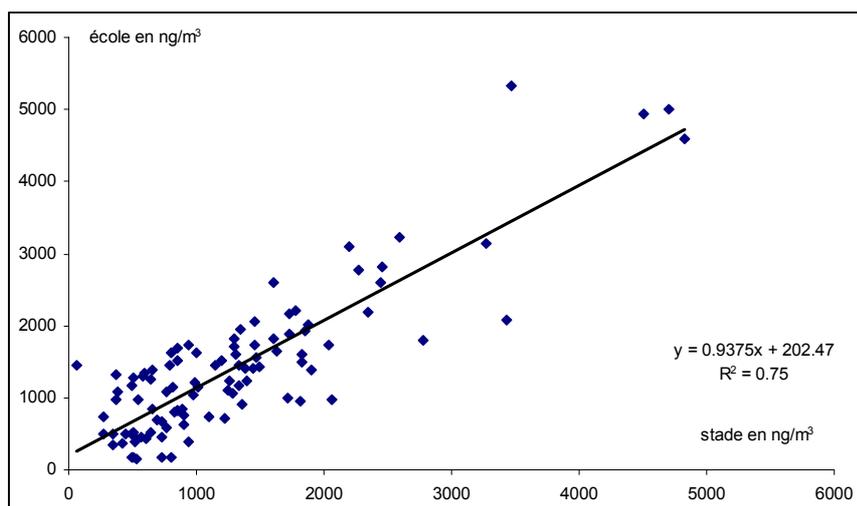
#### Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures

	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Gardanne 2003
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	967.5 à 1449.6 1449.6 au stade Bon rencontre	2538.6 à 4508.7

Les niveaux mesurés à Toulon sont inférieurs à ceux mesurés à Gardanne en 2003.

#### III-10-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

#### Nuage de point des niveaux journaliers établi sur la période



La corrélation entre les deux sites est importante.

## III-11- Cuivre (Cu)

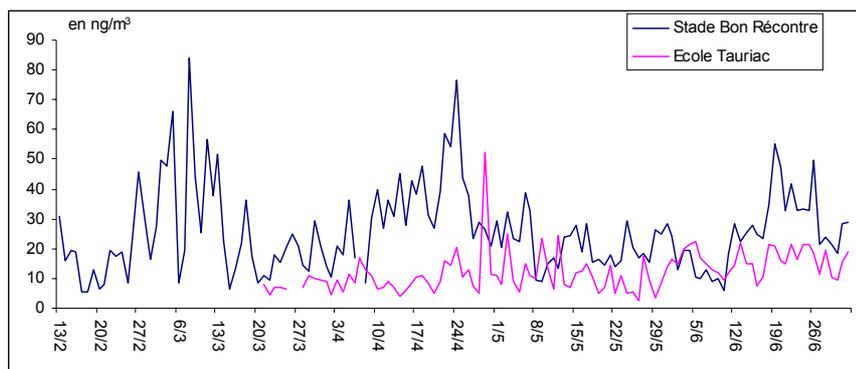
### III-11-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux de cuivre relevés au stade Bon Rencontre sont près de deux fois plus élevés qu'à l'école de la Tauriac, **25.7 et 12.3 ng/m<sup>3</sup>**, avec des maxima respectifs de **84,3 et 52.2 ng/m<sup>3</sup>** (CEREGE). Ces teneurs sont comparables à celles fournies par l'INERIS (**12 ng/m<sup>3</sup>**). Les concentrations mesurées sont proches de celles mesurées dans des situations urbaines non influencées de Marseille et Aix en Provence.

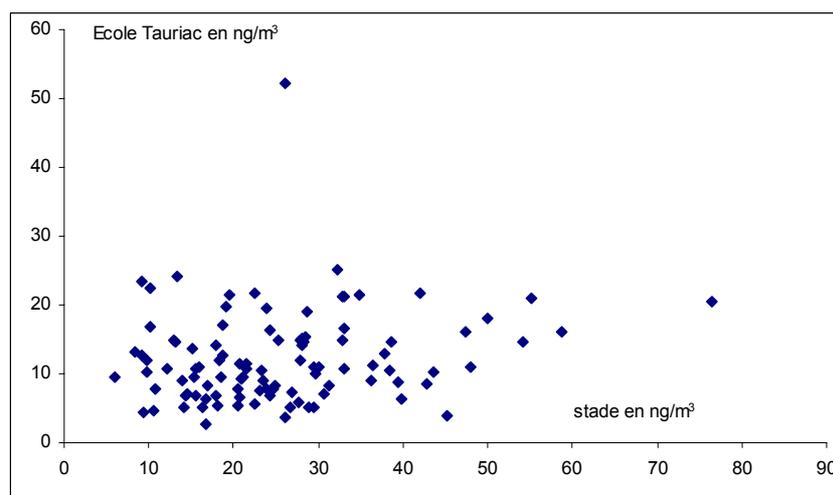
**Tableau récapitulatif des niveaux mesurés sur d'autres sites de mesures**

	Campagne Toulon 2001 4 sites de mesures	Campagne Marseille Aix 2000
Niveau moyen En ng/m <sup>3</sup>	De 13.8 à 18.5 (18.5 mesurés au stade Bon rencontre)	12.3 à 25.6 ng/m <sup>3</sup> 41.7 ng/m <sup>3</sup> à Saint-Louis (influence locale)

### III-11-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES



**Evolution des niveaux de cuivre du 13/02 au 02/07/2002**



**Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période**

La corrélation linéaire entre ces deux sites est faible ( $R=0.18$ ).

L'analyse des points remarquables indique que les situations de mistral entraînent souvent des teneurs

plus élevées sur le site du stade, mais cette condition météorologique entraîne également des situations inverses (niveaux plus forts à l'école de la Tauriac, exemple du 29/04 – mistral fort établi).

## Points remarquables

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
10/04	39.90	6.30	Stade > école	Sud Est
14/04	45.21	3.91	Stade > école	Mistral
16/04	42.81	8.53	Stade > école	Mistral
18/04	47.98	10.80	Stade > école	Mistral
24/04	76.46	20.52	Stade > école	Brises
26/05	16.77	2.73	Stade > école	Mistral
29/05	26.15	3.65	Stade > école	Mistral
2/06	47.40	16.10	Stade > école	Brises
19/06	55.10	20.95	Stade > école	Brises
22/06	49.90	18.16	Stade > école	Brises
26/06	41.98	21.62	Stade > école	Brises
29/04	26.15	52.20	Stade < école	Mistral
9/05	9.06	23.51	Stade < école	Sud Est
12/05	13.33	24.2	Stade < école	Brises
5/06	10.21	22.53	Stade < école	Brises

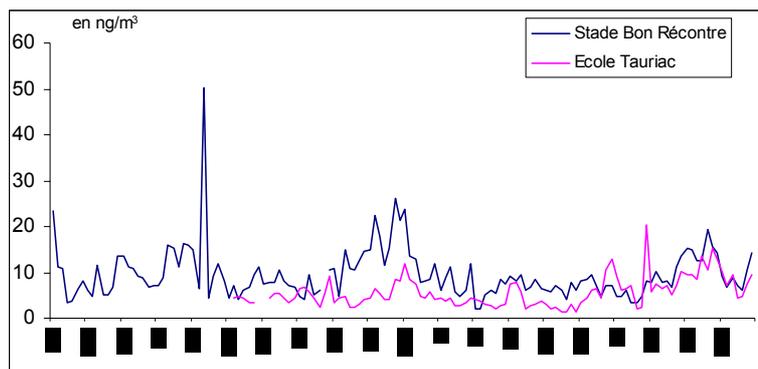
## III-12- Baryum (Ba)

### III-12-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

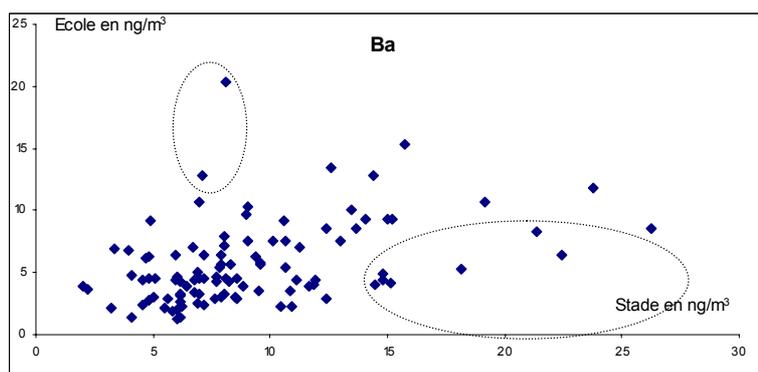
Les niveaux de baryum relevés sur le site du stade Bon Rencontre sont près de deux fois plus élevés que sur le site de l'école, respectivement **9.6 et 5.7 ng/m<sup>3</sup>**. Cette différence est également constatée concernant les maxima journaliers, **50.3 et 20.4 ng/m<sup>3</sup>**.

Ce composé ne comporte pas de référence normative.

### III-12-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES



Evolution des niveaux de barium du 13/02 au 02/07/2002



Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période

Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
12/04	14.79	4.44	Stade > école	Brises
16/04	14.48	4.06	Stade > école	Mistral
17/04	14.79	4.87	Stade > école	Brises
18/04	22.45	6.36	Stade > école	Mistral
19/04	18.13	5.33	Stade > école	Mistral
21/04	15.10	4.09	Stade > école	Brises
22/04	26.25	8.55	Stade > école	Brises
23/04	21.33	8.33	Stade > école	Brises
11/06	8.13	20.37	Stade < école	mistral

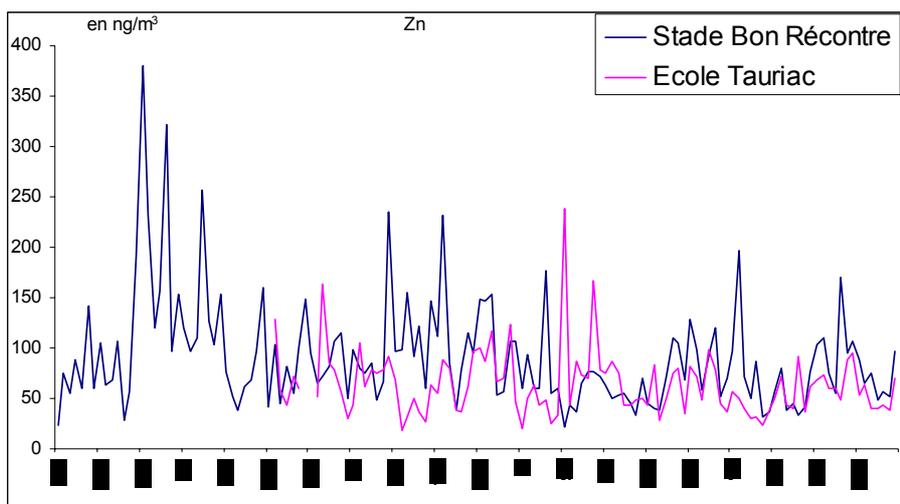
### III-13- Zinc (Zn)

#### III-13-1- COMPARAISON AUX REFERENCES NORMATIVES ET BIBLIOGRAPHIQUES

Les niveaux moyens de zinc (données CEREGE) sont plus élevés au stade Bon Rencontre qu'à l'école de la Tauriac, respectivement **91.5 et 64.2 ng/m<sup>3</sup>**. De même, l'amplitude des pointes est plus importante sur le premier site (**379.9 et 239 ng/m<sup>3</sup>** en maximum journalier). La concentration fournie par l'INERIS au stade Bon rencontre est de **47 ng/m<sup>3</sup>**.

#### III-13-2- EVALUATION DU LIEN POTENTIEL AVEC L'ACTIVITE DE L'UIOM OU D'AUTRES SOURCES

##### Evolution des niveaux d'aluminium du 13/02 au 02/07/2002



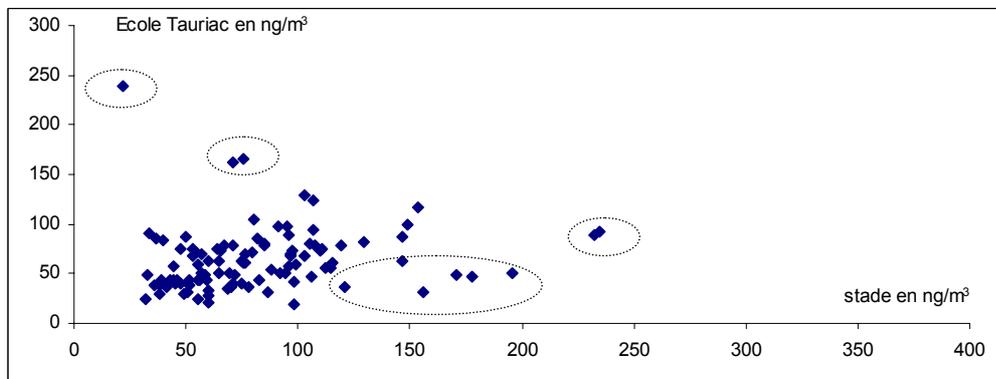
La corrélation entre les deux sites est faible (0.14). L'analyse des points remarquables (fort écart entre les deux sites) fait apparaître une nette tendance :

- Niveaux plus élevés au stade (mistral ou brises),
- Niveaux plus élevés à l'école (régime d'Est).

Cette relation n'est pas systématique et quelques points atypiques ont été relevés par flux d'Est dans le premier cas (11/04 et 1/05) et par mistral dans le second (16/06).

La tendance générale présentée précédemment pourrait correspondre à l'influence de l'UIOM.

##### Nuage de point des niveaux journaliers établi sur la période

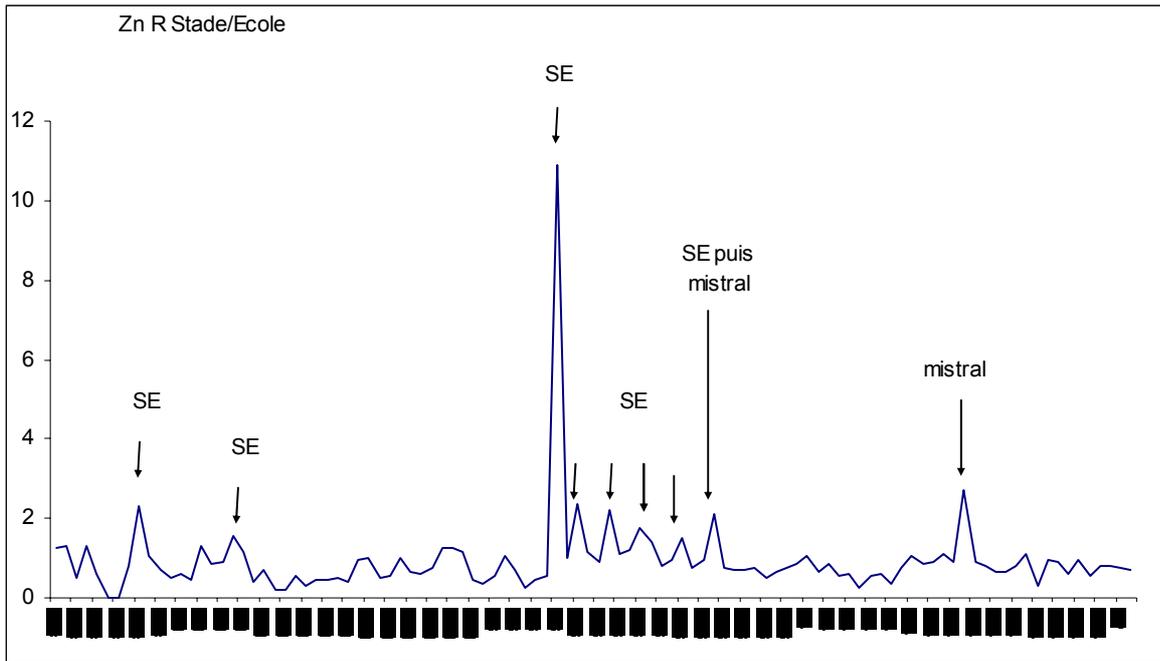


## Points remarquables

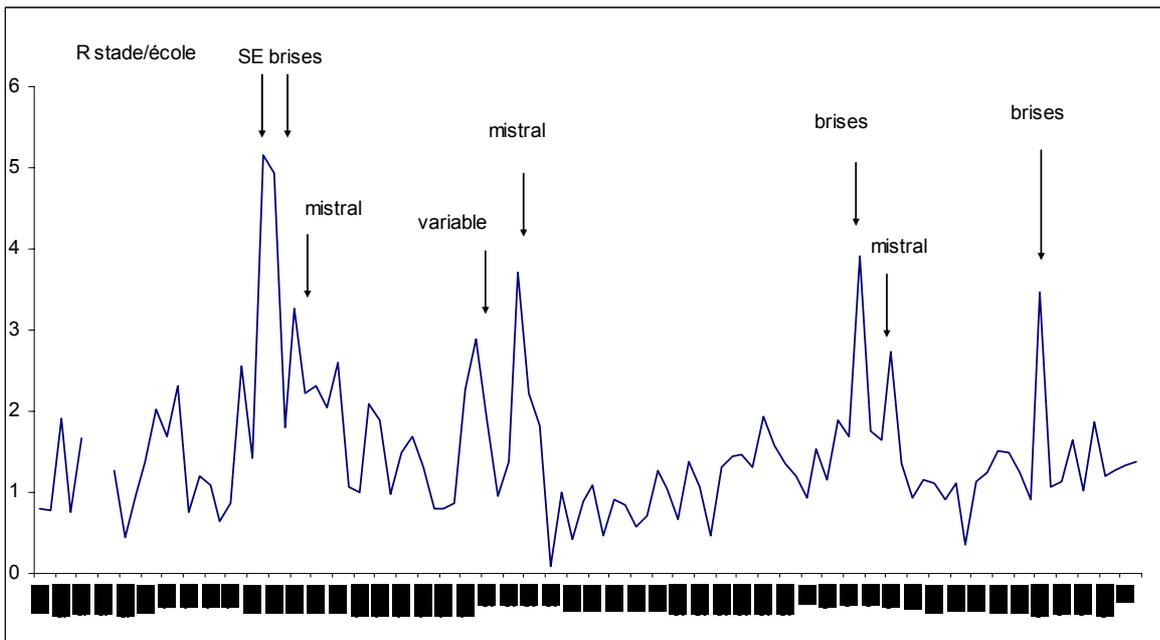
Date	Niveau au stade	niveau à l'école		conditions météorologiques
9/04	234.87	92.29	Stade > école	Brises
11/04	98.13	19.00	Stade > école	Est
12/04	155.63	31.53	Stade > école	Brises
14/04	120.94	36.96	Stade > école	Mistral
18/04	232.48	89.14	Stade > école	Brises
1/05	115.83	36.43	Stade > école	Sud Est
5/05	177.40	47.93	Stade > école	Mistral
6/06	196.04	50	Stade > école	Brises
9/06	86.25	31.44	Stade > école	Mistral
23/06	170.42	49.10	Stade > école	Brises
29/03	71.04	162.98	Stade < école	Sud Est
7/04	47.60	74.56	Stade < école	Est Sud Est
8/05	21.98	238.97	Stade < école	Est Sud Est
10/05	36.46	86.18	Stade < école	Sud Est
13/05	165.88	13.05	Stade < école	Sud Est
16/05	50.21	86.99	Stade < école	Sud Est
20/05	32.69	48.56	Stade < école	Sud
23/05	39.90	84.00	Stade < école	Sud Est puis mistral
16/06	33.44	91.29	Stade < école	Mistral

L'évolution du rapport stade/école ou école/stade, qui indique le facteur d'enrichissement relatif d'un site par rapport à l'autre, met nettement en évidence la relation présentée précédemment.

**Evolution du ratio stade/école pour le Zn du 13/02 au 02/07/2002**



**Evolution du ratio école/stade pour le Zn du 13/02 au 02/07/2002**



## IV- ANALYSE DES MATRICES DE CORRELATION SUR LE SITE DU STADE ET DE L'ECOLE DE LA TAURIAC

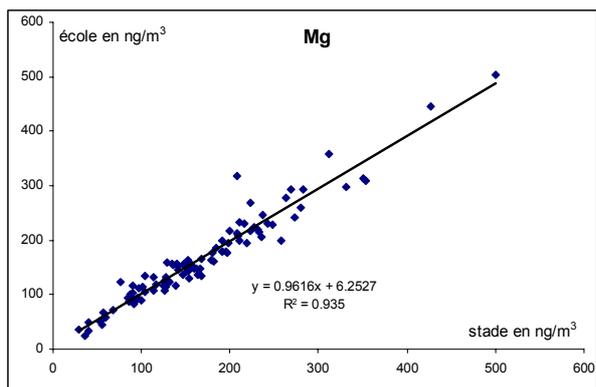
Cette analyse fait apparaître des groupes de métaux dont la source pourrait être commune.

### IV-1- Magnésium et sodium (Mg et Na)

Les teneurs moyennes et les maxima de ces composés sont proches sur les deux sites :

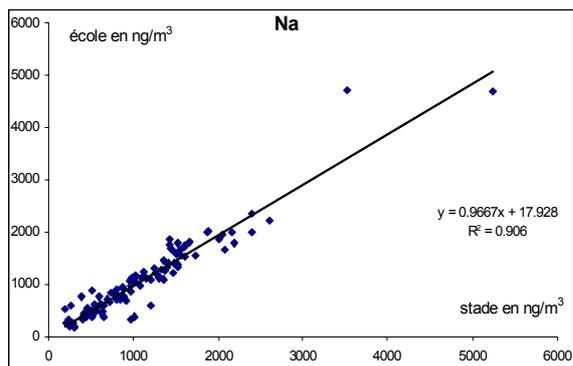
- Mg = 159.6 - 165 ng/m<sup>3</sup> en moyenne et 499.9 - 503.5 ng/m<sup>3</sup> maxima journaliers.
- Na = 1118.0-1073.2 en moyenne et 5238.0-4717.7 ng/m<sup>3</sup> maxima journalier.

Ces composés sont très fortement corrélés entre les deux sites (R = 0.97).

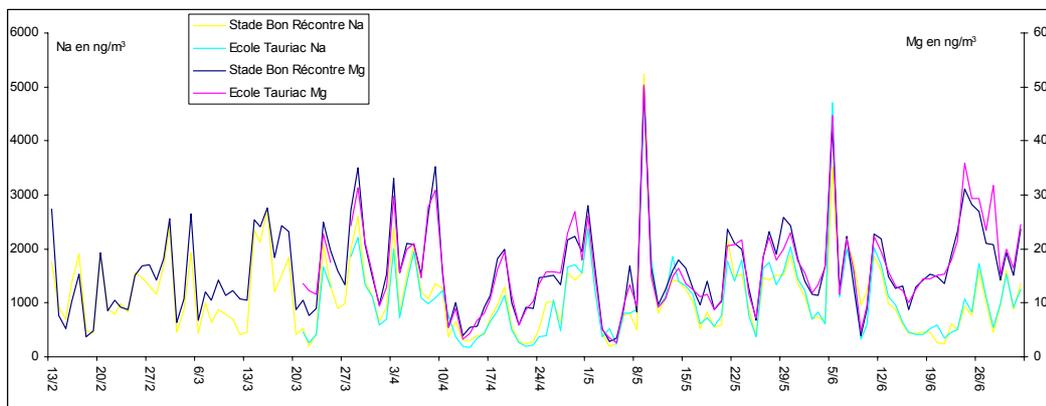


#### Nuage de points des niveaux journaliers établi sur la période

Ces composés ont principalement pour origine l'aérosol marin en situation côtière. La corrélation entre le sodium et le magnésium est de 0.82 sur le site du stade et 0.77 à l'école. Ce point confirme la forte prédominance de l'influence marine.



#### Evolution de Na et Mg sur les sites stade et école du 13/02 au 2/07/2002

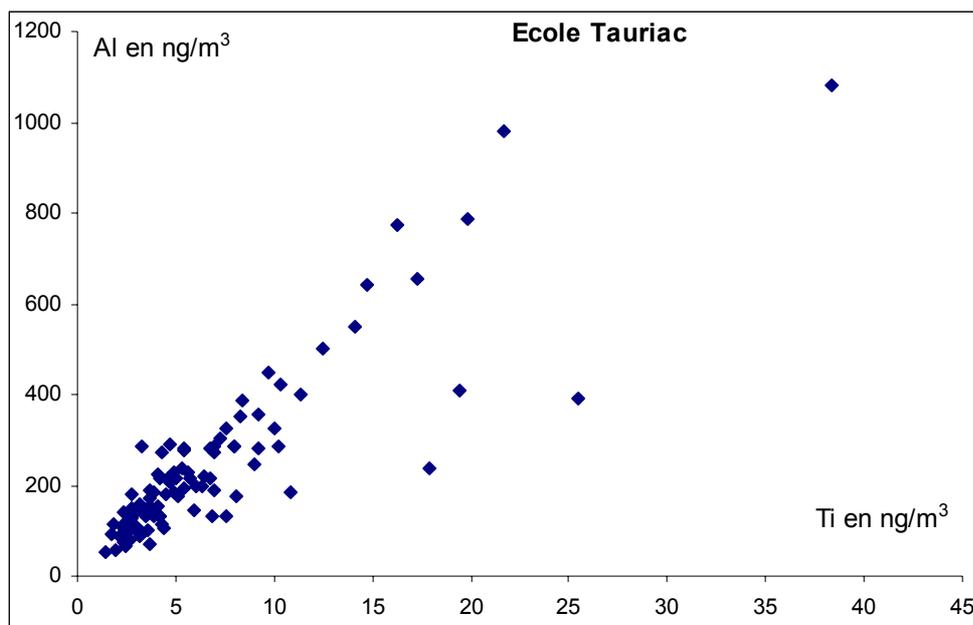


## IV-2- Titane – aluminium – calcium ( Ti-Al-Ca)

Le **titane** est extrêmement bien lié à l'**aluminium** ( $R= 0.87-0.71$ ) et indique un lien avec le **calcium** ( $R=0.62-0.63$ ) sur les deux sites.

L'analyse des journées remarquables indique que les situations météorologiques à l'origine des plus forts écarts entre les sites de l'école et du stade ne sont pas compatibles avec l'UIOM. Le lien relativement marqué entre les deux sites indique des phénomènes de relativement grande ampleur supérieure à l'échelle de l'étude UIOM.

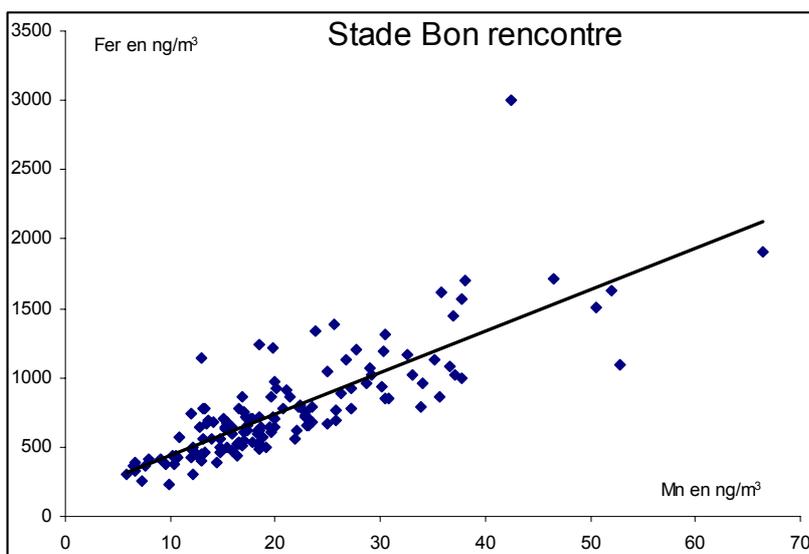
### Nuage de points entre l'aluminium et le titane – Ecole de la Tauriac



Ce groupe traduit l'**influence terrigène prédominante** pour ces composés.

## IV-3 - Manganèse et fer (Mn-Fe)

Le lien entre le manganèse et le fer est fort sur les deux sites ( $R>0.8$ ).



Rappelons qu'aucune corrélation entre les sites concernant le fer et le manganèse n'a été mise en évidence. La conséquence induite est que la liaison étroite constatée entre ces deux polluants est liée à un type de source identique sur les deux sites, mais l'influence est locale, à l'échelle de ce que pourrait être celle de l'UIOM. En effet, dans le cas de source commune avec une échelle d'étude plus vaste (cas du Mg-Na vu précédemment) les deux sites sont également corrélés.

L'analyse des journées pour lesquelles un écart important est constaté entre les deux sites ne met pas en évidence de tendance forte en matière de régime de temps. L'influence éventuelle de l'UIOM n'est pas mise en évidence avec cette analyse.

#### **IV-4- Zinc et Cadmium (Zn et Cd)**

Le zinc ne montre pas de corrélation marquée avec d'autres paramètres.

Le coefficient de corrélation avec le cadmium est respectivement de 0.34 et 0.11 au stade et à l'école de la Tauriac.

Son comportement au cours de la campagne pourrait néanmoins rendre ce groupe compatible avec l'influence de l'UIOM.

En effet, quelques épisodes remarquables, en particulier les **13/05**, **9/04** et **23/06** montrent un comportement homologue entre ces deux paramètres.

Les situations météorologiques des épisodes précités sont compatibles avec une influence de l'UIOM.

Ce point sera bien entendu approfondi dans le cadre du travail de thèse effectuée par Martine Le Floch au CEREGE.

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude de la qualité de l'air autour de l'UIOM toulonnais, financée par le SITTOMAT et l'ADEME, s'est déroulée sur trois ans **de 2001 à fin 2003**.

- **L'année 2001** a été consacrée aux travaux préliminaires en vue d'optimiser le choix des sites de prélèvements (bibliographie, modélisation du panache et premières mesures de terrain).
- **En 2002**, une campagne lourdement instrumentée a été réalisée sur deux sites choisis à l'issue des travaux de 2001 – **stade Bon Rencontre et Ecole de la Tauriac**,
- **L'année 2003**, a porté sur l'analyse et le traitement des nombreux résultats.

Rappelons que dans le cadre de cette étude, un travail de thèse est réalisé au CEREGE sous la direction de Yves Noack (directeur de recherche CNRS) par Martine Le Floch.

## *Travaux préliminaires de 2001*

Les travaux de modélisation du panache réalisés en 2001 par l'INERIS avec ADMS3 indiquent que les retombées maximales de l'UIOM se situent sous les vents dominants :

- **à l'Est** (sous le mistral),
- **à l'Ouest**, Nord Ouest (sous les flux d'Est et brises de mer de Sud).

Les retombées seraient enregistrées principalement dans les **deux premiers kilomètres** avec une zone maximale entre **0.5 et 1.5 km de distance**.

Les premières teneurs calculées à partir des émissions relevées en novembre 2000 indiquent que la contribution moyenne annuelle de l'UIOM sur le domaine est **relativement faible** :

- 1 ng/m<sup>3</sup> sur 10-20 ng/m<sup>3</sup> pour le plomb
- 0.25 µg/m<sup>3</sup> pour les particules en suspension pour une teneur moyenne de la zone entre 20 et 30 µg/m<sup>3</sup>.

Des premières mesures de métaux lourds ont été réalisées en 2001 par le CEREGE sur cinq sites :

- **Site 0** - Maison de la qualité au pied de la cheminée de l'UIOM
- **Site 1** - A 600 mètres au Nord de la cheminée au Collège de la Marquisane
- **Site 2** - A 1000 mètres à l'Est au stade de Bon Rencontre
- **Site 3** - A 300 mètres au Nord de l'usine chez un particulier
- **Site 4** - à l'Est sur le site permanent de l'Hôpital Chalucet.

Les premiers résultats indiquent que les niveaux de métaux lourds respectent les normes ou projet de normes pour ces sites. Ils mettent également en évidence la difficulté d'identifier l'influence de l'UIOM, y compris pour des composés qui paraissent assez spécifiques (Cd, Pb,...).

## *Campagne de mesures 2002*

Les travaux développés en 2001 ont permis d'identifier deux secteurs favorables à l'échantillonnage pour capter les retombées de l'usine :

- **A l'Est, le stade Bon Rencontre** à environ 1000 mètres à l'Est de la cheminée (sous le mistral et les flux d'Ouest),
- A 800 mètres **au Nord Ouest, l'Ecole de la Tauriac** (sous les flux de Sud et Sud Est).

Sur ces deux sites, des **moyens lourds** de mesures automatiques et de prélèvements ont été mis en œuvre **pendant une période allant du 13 février au 7 juillet 2002**. L'objectif était de concentrer le maximum de mesures simultanées pour identifier des paramètres qui seraient spécifiques de l'incinération des ordures ménagères. Il s'agit notamment de la mesure des composés majeurs issus de la combustion (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM10) mesurés par un camion laboratoire, de la mesure du mercure

gazeux, mais également d'une analyse poussée de l'aérosol (masse, nombre, taille, nature chimique).

Quatre organismes sont intervenus pendant la campagne de mesures en 2002 :

- Airmaraix avec le camion laboratoire au stade Bon Rencontre – **du 16 avril au 1<sup>er</sup> mai 2002**
- CEREGE – prélèvement et analyse des métaux lourds du **13/02 au 2/07/2002** au stade Bon Rencontre et du **21/03 au 7/02** à l'Ecole de la Tauriac,
- LEPI – prélèvement et analyse des particules (taille nombre, fraction ionique) **mars/avril 2002**
- INERIS – prélèvement et mesure des métaux lourds – **du 13 au 26 février 2002.**

### *Synthèse des résultats*

Les polluants « classiques » ont été évalués sur le site du stade Bon Rencontre avec le camion laboratoire d'Airmarix. Les niveaux sont très fortement influencés par le trafic automobile et l'influence de l'UIOM n'a pas été mise en évidence sur ces composés.

- La moyenne annuelle estimée de dioxyde d'azote (**51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ) est supérieure à la valeur limite européenne (40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'échéance 2010),
- La concentration de particules en suspension inférieures à 10  $\mu\text{m}$  (PM10) est modérée avec une moyenne annuelle estimée à **25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Elle est inférieure à la valeur limite annuelle 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (échéances 2005).
- Les teneurs en dioxyde de soufre et monoxyde de carbone sont faibles, nettement inférieures aux valeurs de référence.

Les mesures de métaux lourds effectuées par le CEREGE et l'INERIS montrent des teneurs comparables à d'autres sites non ou peu influencés par des sources fixes identifiées. Les niveaux des cinq métaux ciblés par l'union européenne (plomb, nickel, cadmium, arsenic et mercure) sont nettement inférieurs aux normes actuelles ou en projet.

- Les niveaux moyens de plomb se situent à **8-9  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (valeur limite européenne : 500  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$ ).
- Les projets de valeur cible pour les quatre autres métaux visés par l'union européenne sont également respectés :
  - niveau moyen de cadmium de **0.7  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (projet de valeur cible : 5  $\text{ng}/\text{m}^3$ )
  - niveau moyen de nickel de **3  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (projet de valeur cible : 20  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$ )
  - niveau moyen d'arsenic de **0.1  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (projet de valeur cible : 6  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$ )
  - niveau moyen de mercure de **1.2-1.6  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (projet de valeur cible : 50  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$ ).

De même, les composés faisant l'objet de valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé indiquent des teneurs très nettement inférieures aux références :

- niveau moyen de manganèse de **17-21  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (valeur guide de l'OMS : 150  $\text{ng}/\text{m}^3/\text{an}$ ),
- niveau maximal sur 24 heures de vanadium **44  $\text{ng}/\text{m}^3$**  (valeur guide de l'OMS : 1000  $\text{ng}/\text{m}^3/24 \text{ h}$ ).

Plusieurs sources possibles, par groupes de métaux ont pu être identifiées par une étude statistique simplifiée :

- sodium, magnésium - Source marine,
- aluminium/calcium/titane - Source terrigène,
- manganèse/fer – sources non identifiées compatibles avec l'influence de l'UIOM dans certains cas,
- zinc/cadmium – source compatible avec l'influence de l'UIOM dans certains cas.

L'influence de l'UIOM n'a pas pu être réalisée de façon formelle par ces travaux. La contribution calculée par les travaux de modélisation montre qu'elle est sans doute de quelques pourcents pour les composés ayant fait l'objet d'une simulation. Cette contribution semble compatible avec l'exploitation des données mesurées, pour lesquelles aucun marquage très net n'a pu être mis en évidence.

### *Perspectives*

Le travail de thèse de Martine Le Floch devrait permettre de mieux identifier les liens éventuels entre les composés, en croisant une plus grande quantité d'informations à l'aide d'outils statistiques élaborés.

En dehors des oxydes d'azote, déjà surveillés sur quatre sites permanents, aucun composé ne nécessite de mesures permanentes en regard des critères européens de surveillance.

En liaison avec l'évolution de l'état de l'art, des mesures complémentaires pourraient être réalisées sur les organiques, en particulier les dioxines et les furannes.

## Référence des rapports élaborés pendant l'étude :

Airmaraix – Dominique Robin (août 2002) Evaluation de l'impact d'une Unité d'incinération des ordures ménagères et détermination d'un traceur spécifique – UIOM toulonnais

LEPI – Serge Despiau, Tathy Missamou et Chistelle Cayol (novembre 2002) Projet UIOM Toulon – suivi de l'étude portant sur les retombées de l'usine d'incinération d'ordures ménagères à Toulon

CEREGE – Martine Le Floch, Yves Noack (juin 2001) Impact Environnemental de l'usine d'Incinération des ordures ménagères de Toulon – Détermination d'un traceur atmosphérique – rapport d'avancement n°1 (bourse ADEME)

CEREGE - Martine Le Floch, Yves Noack (janvier 2002) Impact d'une usine d'ordures ménagères sur la qualité de l'air ambiant : résultats préliminaires – rapport d'avancement n°2 (bourse ADEME)

CEREGE - Martine Le Floch, Yves Noack (novembre 2002) Impact Environnemental de l'usine d'Incinération des ordures ménagères de Toulon – Détermination d'un traceur atmosphérique – rapport d'avancement n°3 (bourse ADEME)

INERIS – Laurence Rouil (juillet 2002) Evaluation des retombées atmosphériques issues de l'UIOM de Toulon – rapport d'avancement

INERIS – Laurence Rouil (décembre 2003) Evaluation des retombées atmosphériques issues de l'UIOM de Toulon – rapport final

LCSQA/INERIS – Fabrice Marlière, Nathalie Bocquet (décembre 2001) Métaux-Mercure – Campagne de Toulon p13

LCSQA/INERIS – Fabrice Marlière, Nathalie Bocquet, Maxime Rouez (décembre 2001) Métaux-Mercure – Toulon site urbain (proximité d'un UIOM, p62

Martine Le Floch (soutenance le 1<sup>er</sup> juillet 2004 – Manuscrit en cours de publication), **Caractérisation physico-chimique et traçage des émissions particulières métalliques d'une usine d'incinération d'ordures ménagères dans l'air ambiant – exemple de l'UIOM de Toulon (Var, France)**, thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Droit, d'Economie et de Sciences d'Aix-Marseille.

# ANNEXES

# ANNEXE I : Niveaux mesurés au Stade Bon Rencontre

dates	jours	PM10 (µg/m3)	Cd (ng/m3)	Pb (ng/m3)	Mn (ng/m3)	Ba (ng/m3)	Ti (ng/m3)	Cu (ng/m3)	Al (ng/m3)	Zn (ng/m3)	Mg (ng/m3)	K (ng/m3)	Na (ng/m3)	Ca (ng/m3)	Fe (ng/m3)
13/02/2002	mercredi	41.7	1.57	14.2	30.5	23.2	24.4	30.9	761.4	23.4	273.3	303.0	1745.3	2197.5	1307.8
14/02/2002	jeudi	21.3	0.50	4.7	17.1	11.1	2.8	16.0	159.3	74.8	76.6	120.9	909.6	552.6	754.6
15/02/2002	vendredi	20.8	0.63	8.3	13.6	10.9	2.1	19.5	89.0	55.6	52.8	98.3	710.4	912.6	689.6
16/02/2002	samedi	10.8	0.19		12.0	3.2	4.4	19.1	26.7	89.0	103.6	56.6	1372.1	395.6	745.7
17/02/2002	dimanche	16.7	0.21		14.8	3.8	3.1	5.4	53.8	60.8	153.9	78.0	1902.2	324.3	560.9
18/02/2002	lundi	15.8	0.41	5.0	14.1	6.5	3.3	5.6	83.1	142.0	36.9	75.2	488.4	759.7	685.5
19/02/2002	mardi	15.4	0.36	5.1	13.1	8.0	3.2	13.1	66.0	60.7	47.2	60.9	443.4	507.4	773.2
#####	mercredi	14.2	0.98	10.0	25.0	6.0	7.3	6.5	117.5	104.9	193.2	117.5	1925.5	734.5	669.1
21/02/2002	jeudi	7.9	0.17		7.9	4.9	3.1	7.9	64.7	62.8	85.8	47.0	907.0	499.6	411.1
#####	vendredi	22.1	0.35	6.7	19.7	11.6	3.3	19.5	131.0	67.8	104.9	105.7	787.8	1581.9	1214.0
#####	samedi	11.7	0.30	2.1	42.4	5.1	2.7	17.2	61.9	106.7	91.7	82.1	976.4	589.8	3001.1
#####	dimanche	10.0	0.19		12.7	5.0	3.0	19.1	99.1	29.0	88.2	42.2	823.3	578.8	434.6
#####	lundi	16.3	0.47	9.2	6.6	6.8	17.2	8.6	141.3	56.9	151.3	96.4	1548.6	784.6	383.2
#####	mardi	35.4	1.92	15.9	32.5	13.5	7.7	23.1	180.7	191.7	168.9	169.1	1461.6	1037.9	1167.0
#####	mercredi	49.6	2.69	34.3	35.8	13.6	9.0	45.9	179.3	379.9	170.2	280.6	1304.8	1393.1	1615.8
#####	jeudi	27.9	1.19	11.8	37.0	11.4	7.3	30.6	177.7	232.4	142.2	184.6	1155.0	1577.6	1445.5
01/03/2002	vendredi	25.8	0.77	4.7	13.1	10.7	4.0	16.4	95.2	120.3	180.7	139.6	1694.3	1069.6	558.0
#####	samedi	35.8	0.45	5.5	17.2	9.3	5.2	27.4	171.0	156.1	257.2	231.0	2402.8	1001.4	712.1
#####	dimanche	16.7	0.45	7.2	37.8	8.8	3.4	49.5	123.3	321.1	63.0	167.0	459.8	1346.4	1564.7
#####	lundi	20.0	0.27	3.0	13.3	6.9	2.4	47.6	86.7	96.8	107.5	73.3	873.3	601.9	775.1
#####	mardi	29.6	0.54	3.4	25.6	7.1	8.6	65.9	612.2	153.4	265.6	194.7	1933.2	972.2	1382.8
#####	mercredi	15.0	0.61	8.1	37.1	7.0	3.5	8.3	148.8	119.7	67.6	109.6	428.0	717.4	1016.6
#####	jeudi	26.2	0.69	4.7	22.3	8.8	3.5	19.4	106.3	96.4	120.7	131.6	1007.4	841.3	803.4
#####	vendredi	40.0	0.38	11.3	27.7	16.0	4.1	84.3	148.8	110.6	105.7	177.3	638.5	1328.5	1201.3
#####	samedi	40.0	0.59	13.4	46.6	15.3	5.2	44.2	214.8	257.5	143.2	213.3	875.0	1255.7	1714.5
10/03/2002	dimanche	31.7	0.45	9.1	16.6	11.4	4.6	25.3	156.6	126.4	112.8	175.8	796.1	775.8	775.8
11/03/2002	lundi	37.5	0.57	8.8	23.9	16.1	4.0	56.7	131.6	103.0	123.4	212.8	698.8	1986.5	1342.1

12/03/2002	mardi	33.0	0.42	9.4	26.8	16.0	6.7	37.9	173.0	152.8	107.6	165.2	423.0	2115.0	1134.0
13/03/2002	mercredi	28.8	0.40	10.0	24.9	15.0	6.4	51.9	174.0	76.1	105.7	142.8	469.4	1473.1	1042.1
14/03/2002	jeudi	27.9	0.25	4.0	17.8	6.4	3.8	22.2	142.2	52.3	255.1	140.1	2338.0	619.9	707.5
15/03/2002	vendredi	24.6	0.19	3.1	12.2	50.3	3.2	6.3	138.8	38.6	240.5	113.3	2116.7	531.4	471.1
16/03/2002	samedi	22.5	0.18	1.9	6.7	4.5	2.2	13.5	105.5	61.0	275.2	107.7	2741.8	477.8	323.8
17/03/2002	dimanche	35.8	0.27	7.8	20.0	9.3	4.5	22.1	228.6	68.6	183.6	162.6	1197.6	551.9	969.7
18/03/2002	lundi	36.7	0.28	8.3	38.1	11.9	6.6	36.5	344.9	96.4	242.7	180.5	1508.8	1516.1	1697.8
19/03/2002	mardi	30.8	1.20	10.9	28.6	8.1	4.3	17.6	173.2	159.9	231.3	154.8	1830.7	1367.8	958.8
#####	mercredi	13.7	0.24	1.6	10.4	4.4	3.4	8.4	98.0	41.5	87.2	66.6	409.4	1172.8	381.4
21/03/2002	jeudi	16.3	0.29	5.1	12.0	7.0	3.1	10.7	132.2	103.0	104.1	85.0	534.0	1382.6	424.2
#####	vendredi	11.7	0.19		6.7	4.1	3.5	9.4	78.9	44.6	75.9	64.8	200.9	990.5	358.9
#####	samedi	13.7	0.41	8.4	18.5	5.9	3.9	17.9	67.8	82.5	90.3	77.2	448.2	1256.4	717.9
#####	dimanche	20.0	0.36	3.9	20.7	6.8	3.4	15.5	154.6	54.4	248.5	107.0	2072.1	885.4	779.4
#####	lundi	23.8	0.48	4.4	15.1	9.5	3.4	20.6	123.5	99.3	196.4	108.1	1320.3	1714.2	707.2
#####	mardi	31.6	0.61	8.4	29.1	11.3	5.4	24.7	219.7	149.2	160.8	134.0	890.7	2461.4	1019.8
#####	mercredi	25.8	0.35	10.1	23.0	7.3	4.8	20.9	115.3	95.5	133.0	144.6	976.6	915.8	654.7
#####	jeudi	31.2	0.34	5.7	17.3	7.7	6.5	14.6	235.3	64.8	272.6	163.1	2003.6	1014.3	615.9
#####	vendredi	35.0	0.47	7.3	23.5	7.8	5.5	12.2	395.2	71.0	350.5	185.6	2603.6	1462.5	682.2
#####	samedi	31.7	0.98	10.8	21.9	10.6	6.3	29.6	182.1	82.0	208.1	202.9	1395.8	828.9	565.0
31/03/2002	dimanche	28.7	0.54	16.5	15.2	8.1	3.2	20.8	157.4	107.4	148.5	157.5	1143.4	689.5	647.5
01/04/2002	lundi	22.1	0.17	14.1	17.4	7.0	5.7	14.0	158.5	114.9	95.9	109.6	648.4	493.2	700.6
#####	mardi	24.2	0.20	8.1	13.9	6.8	4.1	10.5	260.9	49.4	153.3	134.7	916.8	898.6	554.7
#####	mercredi	33.3	0.24	6.7	19.4	4.8	6.4	21.0	601.5	98.5	331.6	198.8	2397.8	1488.4	641.5
#####	jeudi	35.0	0.45	12.8	22.8	4.0	7.5	18.0	269.6	80.0	156.3	164.8	798.6	1391.4	730.2
#####	vendredi	34.6	0.35	10.0	19.7	9.6	4.0	36.5	160.2	75.1	210.7	159.5	1519.0	1815.7	717.9
#####	samedi	23.3		5.5	12.8	5.1	3.8	16.9	82.2	85.0	208.6	134.2	2049.2	568.2	643.5
#####	dimanche	26.3	0.27	9.1	13.2	6.3	5.0		109.8	47.6	154.2	130.7	1199.1	521.1	462.9
#####	lundi	32.5		6.1	18.2		7.4	8.4	430.9	67.0	262.8	190.4	1075.5	1339.4	591.5
#####	mardi	45.8	8.69	20.0	30.3	10.6	39.0	30.1	762.4	234.9	353.6	317.2	1352.2	2774.6	1189.9
10/04/2002	mercredi	20.8	0.14	4.9	30.8	10.8	6.1	39.9	131.4	96.4	153.9	103.2	1264.0	732.0	847.5



11/04/2002	jeudi	8.3		3.3	14.5	4.6	3.4	26.9	255.4	98.1	55.6	50.4	383.1	487.8	386.4
12/04/2002	vendredi	15.0	0.19	6.3	37.7	14.8	4.7	36.3	162.7	155.6	100.2	98.4	653.5	933.0	999.3
13/04/2002	samedi	12.5	0.17	3.8	34.0	10.9	4.2	30.6	51.3	91.7	40.2	60.6	310.2	533.4	954.4
14/04/2002	dimanche	18.3	0.22	8.0	15.9	10.4	2.9	45.2	71.9	120.9	55.0	102.9	299.2	727.2	470.9
15/04/2002	lundi	14.6	1.90	7.3	12.9	12.4	8.6	27.7	119.2	60.3	56.8	68.3	402.3	644.4	401.5
16/04/2002	mardi	24.2	0.34	13.9	18.6	14.5	5.0	42.8	143.9	146.9	91.1	109.4	413.1	2067.7	648.3
17/04/2002	mercredi	27.5	0.65	12.9	23.4	14.8	5.3	38.3	121.7	112.3	113.5	101.0	720.6	1906.8	788.2
18/04/2002	jeudi	34.2	0.83	10.0	36.6	22.4	7.5	48.0	175.1	232.5	181.5	929.9	961.0	3426.9	1084.1
19/04/2002	vendredi	30.4	0.85	8.3	22.8	18.1	9.6	31.3	174.2	84.9	198.3	123.4	1296.9	1632.4	752.4
#####	samedi	17.5		4.9	18.3	11.7	4.3	26.7	119.7	38.2	101.3	68.9	571.6	855.7	621.9
21/04/2002	dimanche	18.8	0.17	12.1	17.3	15.1	2.3	39.4	80.2	77.6	60.0	86.1	290.2	766.9	654.5
#####	lundi	30.8	10.24	19.4	21.5	26.3	8.6	58.8	255.0	115.6	91.3	113.5	244.4	1830.6	866.7
#####	mardi	33.9	1.69	21.3	26.3	21.3	5.1	54.2	161.3	94.9	90.5	129.5	282.3	1278.1	883.6
#####	mercredi	42.5	0.83	19.8	33.1	23.8	10.7	76.5	256.9	148.6	147.3	177.3	515.0	2343.4	1026.0
#####	jeudi	37.1	0.46	16.4	52.0	13.6	3.9	43.5	141.1	146.5	148.0	141.6	1014.0	1352.9	1633.8
#####	vendredi	36.7	1.00	16.5	29.1	13.0	5.5	37.9	134.3	153.9	150.4	138.3	1024.1	1246.9	1066.6
#####	samedi	17.9		3.8	18.2	7.7	5.3	23.1	202.0	53.2	133.8	79.2	634.2	1199.6	519.9
#####	dimanche	19.6	0.21	7.3	50.5	8.2	3.8	28.9	118.9	56.7	215.7	91.9	1546.6	654.9	1507.3
#####	lundi	26.7	0.19	5.9	19.9	8.3	2.9	26.1	133.4	107.2	223.1	91.6	1433.0	1607.3	646.4
#####	mardi	22.9	0.18	4.2	14.7	11.9	2.6	20.7	86.7	105.9	195.1	81.4	1560.5	1097.8	495.3
01/05/2002	mercredi	27.9	0.14	5.6	66.5	6.1	2.9	29.4	89.5	59.7	280.5	113.3	2393.0	600.7	1913.2
#####	jeudi	25.0	0.27	8.0	14.7	8.9	2.5	20.4	105.6	94.2	162.4	173.9	1468.5	507.4	458.9
#####	vendredi	16.7	0.46	8.3	18.5	11.1	2.3	32.3	45.6	60.0	53.3	54.4	436.3	425.5	620.0
#####	samedi	10.8	0.20	6.4	35.6	5.6	2.3	23.5	60.7	59.4	29.2	52.1	189.9	340.6	868.8
#####	dimanche	8.3	0.10	13.3	18.4	4.8	3.0	22.5	48.6	177.4	35.4	60.0	242.4	509.1	488.4
#####	lundi	16.7		3.8	17.1	6.1	3.0	38.6	66.1	55.6	88.9	67.9	777.3	513.6	603.4
#####	mardi	23.0		6.5	33.8	11.9	8.2	33.1	1213.5	59.8	168.3	101.3	804.4	1222.6	794.6
#####	mercredi	12.5		3.0	9.9	2.0	2.8	9.7	292.9	22.0	84.0	59.8	505.5	274.2	232.8
#####	jeudi	31.7		1.0	13.0	2.2	1.5	9.1	29.3	42.9	499.9	124.3	5238.0	344.2	1143.6
10/05/2002	vendredi	14.2	0.19	5.5	5.8	5.0	1.8	15.1	26.1	36.5	166.5	59.9	1656.3	274.5	299.1



11/05/2002	samedi	17.1	0.16	7.8	10.5	6.1	2.5	16.8	50.2	65.3	95.7	62.1	802.4	450.4	425.4
12/05/2002	dimanche	17.9	0.11	6.8	10.2	5.5	2.1	13.3	49.5	76.3	125.7	64.5	1096.6	489.7	440.9
13/05/2002	lundi	26.3	0.36	20.6	15.3	8.5	2.2	24.0	102.0	75.9	159.9	95.4	1422.5	546.3	504.1
14/05/2002	mardi	26.7	0.55	9.8	19.6	7.6	2.2	24.4	96.9	70.9	178.5	112.4	1404.0	902.6	607.1
15/05/2002	mercredi	27.5	0.83	12.2	22.8	9.1	2.7	27.9	106.8	64.2	163.8	110.3	1242.2	734.1	713.0
16/05/2002	jeudi	30.0	0.41	8.4	18.5	8.0	2.2	18.8	100.8	50.2	125.9	106.0	1021.6	855.3	519.7
17/05/2002	vendredi	25.4	0.28	9.1	27.2	9.6	2.3	28.1	94.9	53.0	96.8	93.2	535.2	766.8	928.6
18/05/2002	samedi	19.6	0.16	6.9	15.9	6.0	3.4	15.5	644.9	55.2	139.1	84.9	842.6	576.8	593.4
19/05/2002	dimanche	12.9		5.3	16.8	6.9	2.3	16.3	94.3	44.7	86.6	67.5	552.7	388.2	505.1
#####	lundi	15.4		5.4	6.4	8.5	4.2	14.3	128.8	32.7	103.4	69.2	598.9	491.3	364.4
21/05/2002	mardi	26.5	0.18	6.1	10.5	6.5	3.9	17.9	98.9	69.4	235.5	86.8	2188.5	501.9	432.9
#####	mercredi	22.9	0.11	3.4	16.6	6.1	6.0	14.1	211.1	45.7	209.7	97.9	1478.1	799.5	521.6
#####	jeudi	22.1		8.2	19.2	5.8	6.3	15.8	168.8	39.9	200.1	85.8	1522.4	598.1	497.3
#####	vendredi	15.0		4.5	12.2	7.2	3.2	29.5	114.9	38.4	127.6	64.5	890.0	813.1	474.9
#####	samedi	12.1		5.0	12.2	6.0	3.1	20.4	105.1	71.4	68.1	53.1	402.3	644.1	501.1
#####	dimanche	17.5	0.24	7.7	23.2	4.1	3.4	16.8	112.8	110.4	183.6	76.5	1469.7	60.0	651.8
#####	lundi	22.5	0.28	11.3	22.2	7.9	4.4	18.6	349.5	105.4	231.6	98.6	1430.1	1725.1	784.9
#####	mardi	18.8	0.24	4.9	12.7	6.1	2.2	15.3	123.4	68.3	190.8	72.4	1517.2	1290.2	433.1
#####	mercredi	27.5	0.73	10.6	27.3	8.0	4.7	26.1	210.6	129.2	258.0	103.8	1507.1	2033.5	781.0
#####	jeudi	29.6	0.57	7.0	25.7	8.5	4.0	24.9	165.1	97.8	242.7	106.7	1884.5	1447.8	689.6
31/05/2002	vendredi	29.2	0.23	5.6	18.8	9.4	3.3	28.1	140.9	58.3	180.7	94.0	1349.4	1309.5	571.1
01/06/2002	samedi	24.2		6.0	22.0	7.2	2.9	24.3	85.6	91.3	140.5	73.6	1125.5	793.0	621.7
#####	dimanche	22.1	0.23	7.6	17.1	4.8	2.8	13.1	130.8	119.7	115.7	60.8	692.5	1151.7	542.0
#####	lundi	23.3	0.11	5.4	16.4	7.0	3.0	19.2	132.5	51.7	113.8	72.0	738.3	1004.6	524.5
#####	mardi	30.0	0.27	5.4	30.4	7.1	5.8	19.6	283.0	70.4	168.1	102.9	626.4	1456.3	852.0
#####	mercredi	32.5	0.22	5.1	10.7	4.9	4.3	10.2	196.8	96.1	426.9	136.7	3529.7	853.3	425.4
#####	jeudi	14.2	0.92	4.9	16.5	4.7	2.2	10.1	64.7	196.0	124.1	58.8	1294.6	978.6	538.1
#####	vendredi	25.4	0.31	7.5	17.8	5.9	5.4	13.0	213.0	71.3	223.0	108.6	2150.2	1331.6	532.3
#####	samedi	14.6		3.3	9.6	3.3	1.0	9.1	50.4	50.6	128.3	61.1	1731.4	367.0	382.6
#####	dimanche	7.1	0.14	3.1	7.3	3.2	1.4	9.8	67.0	86.3	39.8	33.1	962.0	375.8	254.4



10/06/2002	lundi	13.7		2.6	12.1	4.6	2.8	6.0	199.7	32.2	87.0	45.7	1199.5	654.1	299.1
11/06/2002	mardi	23.3	0.36	6.4	12.9	8.1	3.3	18.3	139.2	36.0	226.7	63.5	1870.3	1475.1	454.6
12/06/2002	mercredi	27.9	0.44	8.3	19.9	7.9	4.3	28.3	139.4	57.2	218.5	80.7	1593.0	1608.9	705.3
13/06/2002	jeudi	32.5	1.98	13.5	35.2	10.1	3.2	22.5	102.3	79.6	148.4	100.4	986.6	1733.2	1125.1
14/06/2002	vendredi	32.9	0.26	9.0	16.4	7.9	4.9	25.2	212.4	39.1	127.4	102.7	868.2	1828.3	434.1
15/06/2002	samedi	24.2		6.5	25.7	8.0	5.0	27.9	186.7	44.9	131.4	67.7	601.9	1296.9	759.7
16/06/2002	dimanche	21.3		5.1	52.8	6.9	5.7	24.7	193.8	33.4	87.0	69.0	431.5	847.8	1097.9
17/06/2002	lundi	28.3	0.17	10.3	23.1	11.3	8.2	23.2	297.7	41.4	129.6	99.8	441.9	1849.3	701.5
18/06/2002	mardi	34.9	0.66	17.2	30.1	13.4	9.6	34.8	318.9	76.5	141.5	117.6	456.3	2593.2	940.5
19/06/2002	mercredi	39.6	1.68	18.0	20.1	15.2	12.7	55.1	353.9	103.2	152.5	145.8	460.9	2276.9	919.0
#####	jeudi	37.9	1.02	5.8	18.5	15.0	10.8	47.4	343.0	110.2	149.4	117.1	269.0	2459.6	1235.0
21/06/2002	vendredi	28.8	0.33	5.7	13.4	12.4	7.5	32.8	259.5	75.8	135.8	92.5	235.0	2199.7	671.0
#####	samedi	35.4	0.33	21.0	16.8	12.6	8.2	42.0	349.9	55.0	190.8	285.6	621.9	1772.3	857.9
#####	dimanche	44.6	3.02	8.1	15.3	19.2	16.1	33.0	688.3	170.4	232.5	197.8	497.6	1878.2	685.0
#####	lundi	50.4	0.78	5.1	21.1	15.7	22.8	33.1	895.3	95.5	311.1	210.4	947.5	4511.7	917.2
#####	mardi	48.8	0.67	5.0	19.6	14.4	24.0	32.8	816.6	106.9	282.5	178.8	762.0	4826.3	857.9
#####	mercredi	46.7	0.49	8.8	15.2	9.1	7.7	49.9	470.7	88.2	269.0	143.3	1604.3	3267.2	637.2
#####	jeudi	40.8	0.78	3.0	15.4	6.7	7.5	21.5	361.6	65.0	210.3	102.1	1013.1	1348.2	662.4
#####	vendredi	37.5	0.23	4.2	15.9	9.0	12.1	23.9	548.2	74.5	208.2	122.6	454.7	3474.6	643.1
#####	samedi	22.9	0.16	5.0	7.7	7.2	4.2	21.5	170.2	47.6	141.8	75.8	966.8	802.2	361.4
#####	dimanche	27.1	0.50	3.2	9.1	6.0	3.0	18.4	115.5	56.1	191.9	88.0	1599.6	933.9	417.3
01/07/2002	lundi	31.2	0.69	46.2	10.8	10.6	7.0	28.4	245.1	51.1	151.8	86.7	880.4	2440.7	571.6
#####	mardi	39.9	1.36	2.2	17.6	14.1	10.4	28.7	406.7	96.5	236.3	147.5	1366.6	4708.2	701.4
	<b>Moyenne</b>	<b>25.6</b>	<b>0.7</b>	<b>8.5</b>	<b>20.8</b>	<b>9.6</b>	<b>5.5</b>	<b>25.7</b>	<b>200.3</b>	<b>91.5</b>	<b>159.6</b>	<b>121.5</b>	<b>1118.0</b>	<b>1213.6</b>	<b>762.5</b>
	<b>Maximum</b>	<b>50.4</b>	<b>10.2</b>	<b>46.2</b>	<b>66.5</b>	<b>50.3</b>	<b>39.0</b>	<b>84.3</b>	<b>1213.5</b>	<b>379.9</b>	<b>499.9</b>	<b>929.9</b>	<b>5238.0</b>	<b>4826.3</b>	<b>3001.1</b>
		24/06/2002 lundi	22/04/2002 lundi	01/07/2002 lundi	01/05/2002 mercredi	15/03/2003 vendredi	09/04/2003 mardi	08/03/2002 vendredi	07/05/2002 mardi	27/02/2002 mercredi	09/05/2002 jeudi	18/04/2002 jeudi	09/05/2002 jeudi	25/06/2002 mardi	23/02/2002 samedi

### Stade Bon Rencontre – matrice de corrélation linéaire

	PM10	Cd	Pb	Cr	Mn	Ba	Ti	Cu	Ni	Al	Zn	Mg	K	Na	Ca	Fe	V	Co	As	Sn	Sb	NO
PM10	1.00	0.32	0.39	-0.14	0.27	0.43	0.56	0.49	0.49	0.52	0.34	0.57	0.53	0.17	0.68	0.34	0.75	0.81	0.81	0.85	0.58	0.56
Cd	0.32	1.00	0.36	-0.09	0.12	0.31	0.55	0.26	0.34	0.31	0.33	0.11	0.21	-0.11	0.25	0.16	0.75	0.90	0.92	0.71	0.24	0.28
Pb	0.40	0.36	1.00	0.00	0.22	0.29	0.26	0.38	0.70	0.08	0.36	-0.05	0.25	-0.18	0.23	0.21	0.63	0.83	0.88	0.78	0.19	0.38
Cr	-0.13	-0.09	0.00	1.00	0.74	0.12	-0.04	0.21	0.45	-0.01	0.23	-0.20	0.05	-0.17	-0.04	0.52	0.37	0.40	0.14	0.14	-0.26	0.03
Mn	0.28	0.13	0.22	0.74	1.00	0.23	0.14	0.40	0.42	0.13	0.41	0.04	0.29	-0.07	0.16	0.80	0.80	0.65	0.39	0.35	0.27	0.28
Ba	0.45	0.32	0.29	0.12	0.23	1.00	0.33	0.49	0.23	0.23	0.22	0.04	0.38	-0.17	0.40	0.25	0.73	0.72	0.79	0.94	0.67	0.57
Ti	0.57	0.54	0.26	-0.04	0.14	0.33	1.00	0.25	0.18	0.71	0.23	0.37	0.39	-0.05	0.63	0.20	0.45	0.53	0.47	0.61	0.23	0.31
Cu	0.49	0.26	0.38	0.21	0.40	0.49	0.25	1.00	0.10	0.21	0.39	-0.07	0.35	-0.30	0.40	0.45	0.66	0.69	0.59	0.86	0.47	0.57
Ni	0.49	0.39	0.70	0.45	0.42	0.23	0.18	0.10	1.00	0.23	0.19	0.54	0.40	0.60	0.21	0.22	0.46	0.95	0.16	0.73	0.17	0.22
Al	0.54	0.31	0.08	-0.01	0.13	0.23	0.71	0.21	0.23	1.00	0.07	0.42	0.30	-0.02	0.58	0.13	0.58	0.62	0.61	0.84	0.44	0.16
Zn	0.32	0.32	0.36	0.23	0.41	0.22	0.23	0.39	0.19	0.07	1.00	0.01	0.46	-0.08	0.25	0.47	0.35	0.38	0.31	-0.18	-0.01	0.32
Mg	0.57	0.11	-0.05	-0.20	0.04	0.04	0.37	-0.07	0.54	0.42	0.01	1.00	0.32	0.82	0.32	0.09	0.54	0.73	0.53	0.70	0.24	0.01
K	0.54	0.22	0.25	0.05	0.29	0.38	0.39	0.35	0.40	0.30	0.46	0.32	1.00	0.11	0.44	0.32	0.76	0.79	0.78	0.91	0.53	0.47
Na	0.18	-0.10	-0.18	-0.17	-0.07	-0.17	-0.05	-0.30	0.60	-0.02	-0.08	0.82	0.11	1.00	-0.14	-0.01	0.26	0.59	0.27	0.43	-0.06	-0.16
Ca	0.68	0.25	0.23	-0.04	0.16	0.40	0.63	0.40	0.21	0.58	0.25	0.32	0.44	-0.14	1.00	0.21	0.70	0.65	0.61	0.90	0.74	0.45
Fe	0.35	0.16	0.21	0.52	0.80	0.25	0.20	0.45	0.22	0.13	0.47	0.09	0.32	-0.01	0.21	1.00	0.59	0.32	0.00	0.06	0.19	0.40
V	0.80	0.81	0.63	0.37	0.80	0.73	0.45	0.66	0.46	0.58	0.35	0.54	0.76	0.26	0.70	0.59	1.00	0.91	0.70	0.75	0.56	0.56
Co	0.86	0.93	0.83	0.40	0.65	0.72	0.53	0.69	0.95	0.62	0.38	0.73	0.79	0.59	0.65	0.32	0.91	1.00	0.84	0.81	0.42	0.48
As	0.85	0.94	0.88	0.14	0.39	0.79	0.47	0.59	0.16	0.61	0.31	0.53	0.78	0.27	0.61	0.00	0.70	0.84	1.00	0.80	0.43	0.56
Sn	0.93	0.77	0.78	0.14	0.35	0.94	0.61	0.86	0.73	0.84	-0.18	0.70	0.91	0.43	0.90	0.06	0.75	0.81	0.80	1.00	0.48	0.82
Sb	0.61	0.36	0.19	-0.26	0.27	0.67	0.23	0.47	0.17	0.44	-0.01	0.24	0.53	-0.06	0.74	0.19	0.56	0.42	0.43	0.48	1.00	0.77
Nox	0.58	0.29	0.38	0.03	0.28	0.57	0.31	0.57	0.22	0.16	0.32	0.01	0.47	-0.16	0.45	0.40	0.56	0.48	0.56	0.82	0.77	1.00

### Ecole – Matrice de corrélation linéaire

	PM10	Cd	Pb	Cr	Mn	Ba	Ti	Cu	Al	Zn	Mg	K	Na	Ca	Fe	NOx TOUC
Pm10	1.00	0.13	0.32	-0.13	0.46	0.60	0.61	0.38	0.70	0.27	0.68	0.54	0.25	0.59	0.25	0.47
Cd	0.13	1.00	0.18	0.10	0.10	0.21	0.08	0.10	0.08	0.11	-0.06	0.04	-0.10	0.08	0.11	0.42
Pb	0.32	0.18	1.00	0.25	0.27	0.38	0.22	0.16	0.21	0.09	0.12	0.21	-0.01	0.27	0.16	0.34
Cr	-0.13	0.10	0.25	1.00	0.48	0.23	-0.12	0.26	-0.14	-0.12	-0.18	0.06	-0.10	0.03	0.49	0.13
Mn	0.46	0.10	0.27	0.48	1.00	0.44	0.42	0.40	0.53	0.06	0.17	0.41	-0.19	0.44	0.89	0.34
Ba	0.60	0.21	0.38	0.23	0.44	1.00	0.57	0.46	0.59	0.07	0.35	0.54	0.00	0.61	0.27	0.45
Ti	0.61	0.08	0.22	-0.12	0.42	0.57	1.00	0.32	0.87	0.16	0.33	0.47	-0.17	0.62	0.25	0.26
Cu	0.38	0.10	0.16	0.26	0.40	0.46	0.32	1.00	0.35	0.14	0.34	0.35	0.19	0.47	0.41	0.18
Al	0.70	0.08	0.21	-0.14	0.53	0.59	0.87	0.35	1.00	0.20	0.45	0.56	-0.13	0.69	0.30	0.21
Zn	0.27	0.11	0.09	-0.12	0.06	0.07	0.16	0.14	0.20	1.00	0.14	-0.01	0.09	0.11	0.08	0.18
Mg	0.68	-0.06	0.12	-0.18	0.17	0.35	0.33	0.34	0.45	0.14	1.00	0.43	0.77	0.44	0.04	0.01
K	0.54	0.04	0.21	0.06	0.41	0.54	0.47	0.35	0.56	-0.01	0.43	1.00	0.08	0.56	0.23	0.18
Na	0.25	-0.10	-0.01	-0.10	-0.19	0.00	-0.17	0.19	-0.13	0.09	0.77	0.08	1.00	-0.04	-0.15	-0.18
Ca	0.59	0.08	0.27	0.03	0.44	0.61	0.62	0.47	0.69	0.11	0.44	0.56	-0.04	1.00	0.25	0.28
Fe	0.25	0.11	0.16	0.49	0.89	0.27	0.25	0.41	0.30	0.08	0.04	0.23	-0.15	0.25	1.00	0.25
NOx	0.47	0.42	0.34	0.13	0.34	0.45	0.26	0.18	0.21	0.18	0.01	0.18	-0.18	0.28	0.25	1.00

Stade Bon Rencontre

	PM10 (µg/m3 )	Cd (ng/m3 )	Pb (ng/m3 )	Cr (ng/m3 )	Mn (ng/m3 )	Ba (ng/m3 )	Ti (ng/m3 )	Cu (ng/m3 )	Ni (ng/m3 )	Al (ng/m3 )	Zn (ng/m3 )	Mg (ng/m3 )	K (ng/m3 )	Na (ng/m3 )	Ca (ng/m3 )	Fe (ng/m3 )	V	Co	Se	As	Sn	Sb
PM10	1.00	0.10	-0.08	-0.08	0.10	-0.12	0.17	-0.10	-0.12	0.34	-0.09	0.37	0.05	0.22	0.18	0.03	-0.19	0.07	1.00	-0.24	-0.23	-0.41
Cd	0.10	1.00	0.12	-0.14	-0.06	0.01	0.21	-0.03	0.02	0.04	0.07	-0.08	-0.01	-0.13	0.03	-0.05	0.15	0.32	0.98	0.17	-0.01	-0.21
Pb	-0.07	0.11	1.00	0.20	0.40	0.53	0.32	0.57	-0.11	0.26	0.38	0.24	0.50	0.04	0.39	0.33	0.78	0.80 9	0.96 2	0.92 8	0.86 6	0.50 0
Cr	-0.08	-0.15	0.20	1.00	0.83	0.37	0.18	0.47	0.26	0.01	0.52	0.35	0.31	0.42	0.12	0.72	0.23	0.62	1.00	0.40	0.54	-0.16
Mn	0.10	-0.06	0.40	0.83	1.00	0.47	0.42	0.67	0.12	0.26	0.59	0.58	0.53	0.49	0.42	0.88	0.34	0.69	0.98	0.45	0.46	0.04
Ba	-0.11	0.01	0.53	0.37	0.47	1.00	0.51	0.69	0.01	0.31	0.50	0.42	0.56	0.24	0.56	0.50	0.57	0.70	0.91	0.91	0.98	0.40
Ti	0.16	0.21	0.32	0.18	0.42	0.51	1.00	0.62	0.18	0.62	0.59	0.58	0.58	0.35	0.75	0.56	0.06	0.30	0.37	0.15	0.06	-0.03
Cu	-0.09	-0.04	0.57	0.47	0.67	0.69	0.62	1.00	0.07	0.35	0.70	0.49	0.63	0.34	0.62	0.75	0.16	0.68	0.96	0.81	0.94	0.06
Ni	-0.12	0.02	-0.11	0.26	0.12	0.01	0.18	0.07	1.00	-0.09	0.27	0.11	0.07	0.31	-0.03	0.31	0.30	0.97	0.97	0.23	0.73	0.06
Al	0.34	0.04	0.26	0.01	0.26	0.31	0.62	0.35	-0.09	1.00	0.23	0.47	0.42	0.13	0.63	0.25	0.50	0.57	0.03	0.54	0.62	0.34
Zn	-0.08	0.06	0.38	0.52	0.59	0.50	0.59	0.70	0.27	0.23	1.00	0.55	0.62	0.53	0.53	0.73	0.15	0.81	1.00	0.66	0.50	0.00
Mg	0.37	-0.08	0.24	0.35	0.58	0.42	0.58	0.49	0.11	0.47	0.55	1.00	0.62	0.88	0.52	0.61	0.06	0.71	0.86	0.32	0.41	-0.04
K	0.05	-0.01	0.50	0.31	0.53	0.56	0.58	0.63	0.07	0.42	0.62	0.62	1.00	0.45	0.58	0.56	0.36	0.82	0.87	0.89	0.94	0.17
Na	0.22	-0.13	0.04	0.42	0.49	0.24	0.35	0.34	0.31	0.13	0.53	0.88	0.45	1.00	0.17	0.57	0.02	0.65	0.97	0.31	0.50	-0.07
Ca	0.18	0.04	0.39	0.12	0.42	0.56	0.75	0.62	-0.03	0.63	0.53	0.52	0.58	0.17	1.00	0.48	0.42	0.64	0.73	0.78	0.90	0.40
Fe	0.03	-0.05	0.33	0.72	0.88	0.50	0.56	0.75	0.31	0.25	0.73	0.61	0.56	0.57	0.48	1.00	0.28	0.45	0.98	0.20	0.25	0.03
V	-0.17	0.15	0.78	0.23	0.34	0.57	0.06	0.16	0.30	0.50	0.15	0.06	0.36	0.02	0.42	0.28	1.00	0.92	0.97	0.81	0.81	0.54
Co	-0.06	0.32	0.81	0.62	0.69	0.70	0.30	0.68	0.97	0.57	0.81	0.71	0.82	0.65	0.64	0.45	0.92	1.00	0.96	0.81	0.72	0.46
Se	1.00	0.98	0.96	1.00	0.98	0.91	0.37	0.96	0.97	0.03	1.00	0.86	0.87	0.97	0.73	0.98	0.97	0.96	1.00	0.98	0.85	1.00
As	-0.21	0.17	0.93	0.40	0.45	0.91	0.15	0.81	0.23	0.54	0.66	0.32	0.89	0.31	0.78	0.20	0.81	0.81	0.98	1.00	0.93	0.43
Sn	-0.22	-0.01	0.87	0.54	0.46	0.98	0.06	0.94	0.73	0.62	0.50	0.41	0.94	0.50	0.90	0.25	0.81	0.72	0.85	0.93	1.00	0.50
Sb	-0.39	-0.21	0.50	-0.16	0.04	0.40	-0.03	0.06	0.06	0.34	0.00	-0.04	0.17	-0.07	0.40	0.03	0.54	0.46	1.00	0.43	0.50	1.00



**Caractérisation physico-chimique et traçage des émissions particulaires métalliques de l'usine d'incinération d'ordures ménagères dans l'air ambiant - Exemple de l'UIOM de Toulon (Var, France).**

L'incinération d'ordures ménagères s'insère dans la filière globale de traitement des déchets ménagers. Malgré des moyens importants d'épuration des gaz, ces usines (UIOM) rejettent en particulier dans l'atmosphère des particules et des métaux lourds pouvant posséder un impact environnemental important. Un protocole d'étude a été mis au point afin d'identifier, d'estimer les contributions, de caractériser physico chimiquement et de tracer les sources à partir d'échantillons prélevés dans l'air ambiant. Des techniques aussi diverses que le traitement des données in situ (concentrations élémentaires et en  $PM_{10}$ , facteurs d'enrichissement, granulométrie, ACP), les modèles de résolution de problèmes de mélange type UMNIX et CMB, la spéciation chimique (extractions séquentielles) ont été utilisées.

Le principal résultat de la caractérisation de l'aérosol toulonnais et de l'état de la qualité de l'air dans la zone d'étude est que les niveaux de concentrations en  $PM_{10}$  et métaux lourds sont voisins des niveaux enregistrés dans d'autres zones urbaines côtières en France et à l'étranger et conformes aux normes de qualité de l'air ambiant actuellement en vigueur. Il apparaît que l'aérosol toulonnais est constitué d'un mélange de particules issues de sources naturelles pouvant être la re-suspension de sols et les embruns marins et de particules urbaines influencées par le trafic routier et des émissions industrielles. Aucune variation saisonnière ou spatiale n'a pu être enregistrée en terme de concentrations particulaires élémentaires.

En ce qui concerne l'identification des sources et l'estimation de leur contribution à la qualité de l'air ambiant, l'utilisation de méthode statistique multi-variée telle que le modèle UNMIX a permis de déterminer les profils des sources d'émission influençant la zone d'étude et d'estimer leur contribution. Ainsi, plusieurs sources influencent la qualité de l'air dans la zone d'étude :

- la source marine principalement caractérisée par la présence de sodium et secondairement de magnésium, cette source est la source principale d'apports particulaire et élémentaire, elle contribue pour 48% à la qualité de l'air par rapport aux autres sources. Elle possède un caractère saisonnier renforcé en été ;
- la source terrigène due aux ré-envols de poussières de sol est caractérisée par la présence de titane, d'aluminium, de magnésium et de calcium, elle ne présente pas de caractère saisonnier particulier, et contribue entre 20% et 24% à la qualité de l'air ambiant ;
- la source mixte composée de poussières de sol (présence de manganèse et de fer) et de poussières contaminées par des émissions surtout industrielles (présence de zinc et de plomb). Cette source n'est pas toujours repérable dans l'air ambiant notamment en été, mais en hiver sa contribution est d'environ 15%. Sa contribution globale est estimée à 9%. Le fait qu'elle ne soit pas toujours repérable est certainement dû à son caractère intrinsèque de mélange (tantôt elle se confond avec les poussières de sols tantôt avec les émissions de l'UIOM de Toulon), aux conditions météorologiques, etc. ;
- la source UIOM de Toulon qui présente une variabilité en terme de profils et en terme de contribution. Cette source se caractérise par deux types de profil :
  - Ba – Cu – Fe – Zn – Pb – Ca repérable tout le temps aussi bien globalement, qu'en été ou en hiver. La contribution de cette source oscille entre 18% en été et 28% en hiver et globalement elle représente environ 19% ;
  - Zn – Ca , ce profil n'est repérable qu'en été et contribue à 19.2% à la qualité de l'air ambiant .

Au total, cette source contribue à 37% en été et à 28% en hiver (sans compter la source mixte dont une partie vient de l'UIOM mais qui est difficilement quantifiable). On a alors une variabilité saisonnière de la contribution de cette source plus importante en été qu'en hiver. La variabilité en terme de profil de source et de contribution peut s'expliquer par :

- la différence dans le mode de consommation des populations entre l'été et l'hiver qui influe alors sur la qualité et la quantité des matériaux incinérés et donc sur les rejets ;
- des différences de conditions physico-chimiques régnant dans la cheminée et à l'interface entre les gaz d'éjection et l'atmosphère qui pourrait influencer la production d'un certain type de particule ;

Malgré la variabilité dans le profil de la source « UIOM » il est possible de lui affecter plusieurs traceurs que l'on retrouve constamment, il s'agit du zinc et du cuivre.

Au terme de cette étude, il apparaît que les émissions particulaires métalliques de l'UIOM de Toulon peuvent être identifiées par la présence permanente d'éléments tels que le zinc, le plomb et le cuivre, que sa contribution à la qualité de l'air ambiant est estimée à environ 25%. De plus, il a été

établi que cette source présente une variabilité saisonnière en terme de composition et de contribution expliquée principalement par la différence du mode de consommation des populations entre l'été et l'hiver qui influe alors sur la qualité et la quantité des matériaux incinérés et donc sur les rejets.

L'impact environnemental des rejets de l'UIOM a également été évalué comme non négligeable puisque les traceurs que sont le zinc, le plomb et le cuivre se trouvent principalement sous des formes facilement mobilisable dans l'environnement et qu'il existe une accumulation de plomb atmosphérique possédant des rapports isotopiques proche de la signature "cendres UIOM" dans les sols de la forêt de la Tauriac située au nord de l'usine.

Ce dernier résultat rejoint celui de la modélisation de retombée de panache qui indique un impact sur cette zone au Nord – Nord Ouest de l'UIOM alors que le centre ville de Toulon est hors influence de ce panache.