



AIRMARAIX
67-69, avenue du Prado
13286 MARSEILLE CEDEX 6
Tél : 04 91 32 38 00
Fax : 04 91 32 38 29

**EVALUATION DE L'IMPACT D'UNE UNITE D'INCINERATION
DES ORDURES MENAGERES
ET
DETERMINATION D'UN TRACEUR SPECIFIQUE**

Site pilote

UIOM de l'agglomération toulonnaise

Airmaraix/CEREGE/LEPI/INERIS

Rapport d'avancement numéro 1

Responsables Y. Noack / Martine Le Floch
S. Despiau
D. Robin

Marseille, le 20 août 2002

AIRMARAIX – 67-69 Avenue du Prado 13286 Marseille CEDEX 6
Tél : 04 91 32 38 00 – E-Mail : d-robin@airmaraix.com

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

LEPI – BP132 – 83 957 La Garde Cedex – Tél : 04 94 14 23 63 – E-Mail : despiau@isitiv.univ-tln.fr

I-PRESENTATION DE L'ETUDE

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 les êtres vivants, 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 traceur minéral atmosphérique spécifique des émissions de l'UIOM.
- A 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'étude 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 six 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 fixe une liste de 13 familles de polluants à surveiller, à terme, en Europe dans l'air ambiant. Dans cette liste apparaissent de « nouveaux polluants » dont les concentrations sont *a priori* très faibles (ordre de grandeur du ng/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, compétence analytique pour des composés peu spécifique 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 de recherche (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.

Présentation du site (cf. carte ci-contre)

L'Unité d'incinération des Ordures Ménagères est située à l'Ouest de Toulon dans le quartier de Lagoubbran 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.

Principe de fonctionnement synthétique de l'unité

Alimentation des fours et combustion des déchets

Les déchets sont déversés dans une fosse (capacité de 5600 m^3) sous un bâtiment étanche. Ils sont homogénéisés puis chargés dans des trémies d'alimentation des fours. Ils alimentent ensuite régulièrement les fours dont la température de combustion est supérieure à $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Les déchets sont mis en contact avec les braises grâce au système de ringardage de la grille CNIM-Martin, ils s'enflamment en présence d'air soufflé à travers la grille et les déchets. Un brassage des ordures en

combustion est réalisé afin de former une couche homogène et de faire remonter en haut de la grille une masse incandescente qui servira de braise aux ordures fraîches. Pour limiter la propagation des poussières et des odeurs à l'extérieur, l'air de combustion est aspiré dans le hall au dessus de la fosse afin de maintenir la zone en dépression. Dans la chambre de combustion, les gaz subissent une combustion supplémentaire par injection d'air secondaire au-dessus du foyer. Ils traversent ensuite les différents éléments et la chaudière dans laquelle ils se refroidissent pour atteindre une température de 170 °C. La chaleur cédée par les gaz est utilisée pour produire de la vapeur surchauffée. L'énergie apportée par les déchets traitée par les trois unités correspond à environ 57 000 TEP/an.

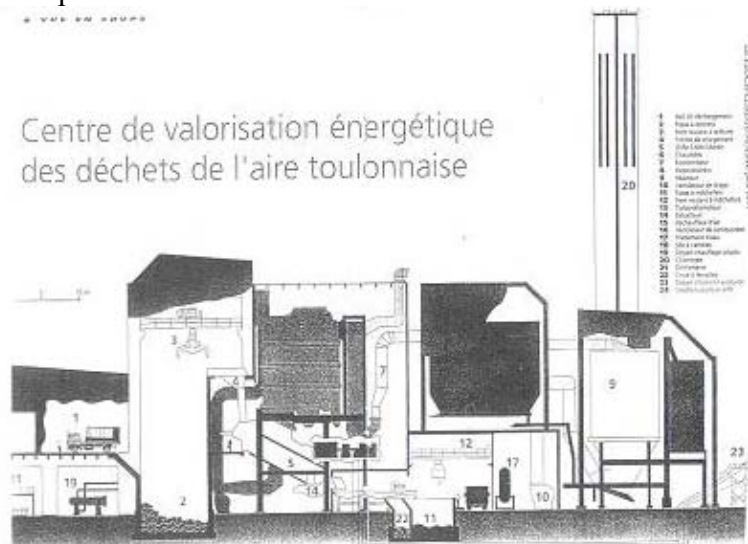
Epuration des gaz

Une fois sortis de la chaudière les gaz de combustion subissent un traitement d'épuration par procédé semi-humide par pulvérisation de lait de chaux. Les acides sont neutralisés dans la tour de réaction à l'aide du lait de chaux, la température est alors à 130 °C. Ce dispositif élimine une grande partie des particules, notamment celles comportant des métaux lourds. Un deuxième dispositif capture par adsorption sur charbon actif les métaux gazeux comme le mercure, les dioxines et furannes, ainsi que les COV. Au niveau du dépoussiérage, des filtres à manches sont utilisés pour les trois unités d'incinération. Ce dispositif semble être aujourd'hui le plus efficace pour capter les particules (Bicocchi 1998). Les gaz sont ensuite évacués par la cheminée de 80 mètres. Les produits de réaction sont collectés sous les réacteurs, les dépoussiéreurs et les chaudières afin d'être stockés dans un silo, avant d'être enfouis en décharge de classe I.

Dans le réacteur est réalisée la neutralisation des gaz acides tels que l'acide chlorhydrique, l'acide fluorhydrique, le dioxyde de soufre, pour former des sels de calcium (CaCl_2 , CaF , CaSO_4).

Il existe deux chaînes de régulation pour contrôler la teneur en HCl à la cheminée :

- par action sur la quantité de chaux introduite et pour maintenir la température des fumées à la sortie du réacteur,
- par action sur la quantité d'eau introduite.



Estimation des émissions 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 ² incluant l'UIOM et l'autoroute ¹
	Valeurs exprimées à 11 % d'O ₂ sur gaz sec et en mg/Nm ³			En Kg/an	
Cadmium gaz	0.005	0.007	0.013	15	0.005
Cadmium particulaire	>0.005	0.001	0.002	4	
Mercure gaz	0.002	0.006	0.018	17	
Mercure particulaire	0.001	>0.0005	0.001	1	
Nickel particulaire	>0.001	0.004	0.012	11	0.0357
Arsenic particulaire	>0.001	>0.001	0.0004	1	
Plomb particulaire	0.010	0.019	0.053	51	
Chrome particulaire	0.008	0.010	0.017	20	0.0255
Cuivre particulaire	0.005	0.007	0.019	19	0.5583
Manganèse particulaire	0.004	0.011	0.022	23	0.005
Particules	15.0				nd
HCl	71.3				nd
CO	99.5				nd
Débit de fumées sèches (à 11 % d'O₂)	47 400	52 100	83 000		/
Masse totale de métaux émise				162 kg/an	Moins de 1 kg/an

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 particule des trois fours. Cette unité émet également le maximum de plomb des trois, 0.053 mg/Nm³ contre 0.010 et 0.019 mg/Nm³. 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 km² 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).

Argumentaire pour le Choix de l'UIOM de l'agglomération toulonnaise

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^{ème} rang des émetteurs de Cadmium (sur 37 recensés) et au 18^{ème} (sur 33) pour le Mercure.

¹ Source : Airmaraix, Inventaire des émissions Escompte, année 1999, 2002

Composés ciblés par l'étude

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

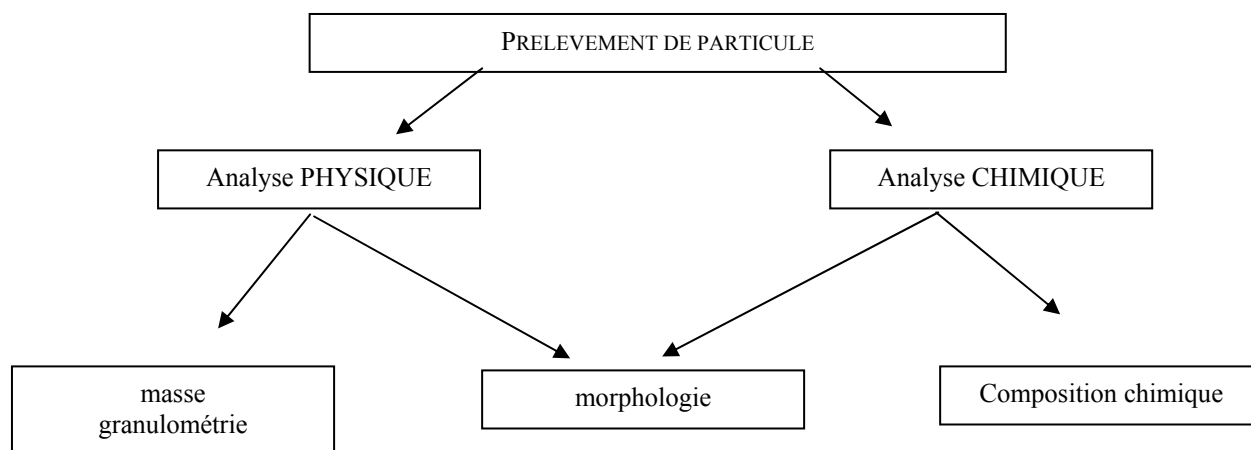
¹ OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Paramètres ciblés pour essayer de déterminer un indicateur dans l'air ambiant de l'UIOM

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

Les particules sont étudiées selon deux axes :

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



² TSP : Particules totales en suspension

³ 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

⁴ Impacteur en cascade HVS Sierra : 0.49 ; 0.95 ; 1.5 ; 3 ; 7.2 µm

⁵ Compteur électrostatique SMPS : de 0.0106 à 0.407 µm

⁶ 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

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

II- ETUDE PREALABLE – 2001

Cette étape préalable, réalisée en 2001, a pour objectif de déterminer deux sites, *a priori* sous l'influence de l'UIOM, sur lesquels sera analysé 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, 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 Mître (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).

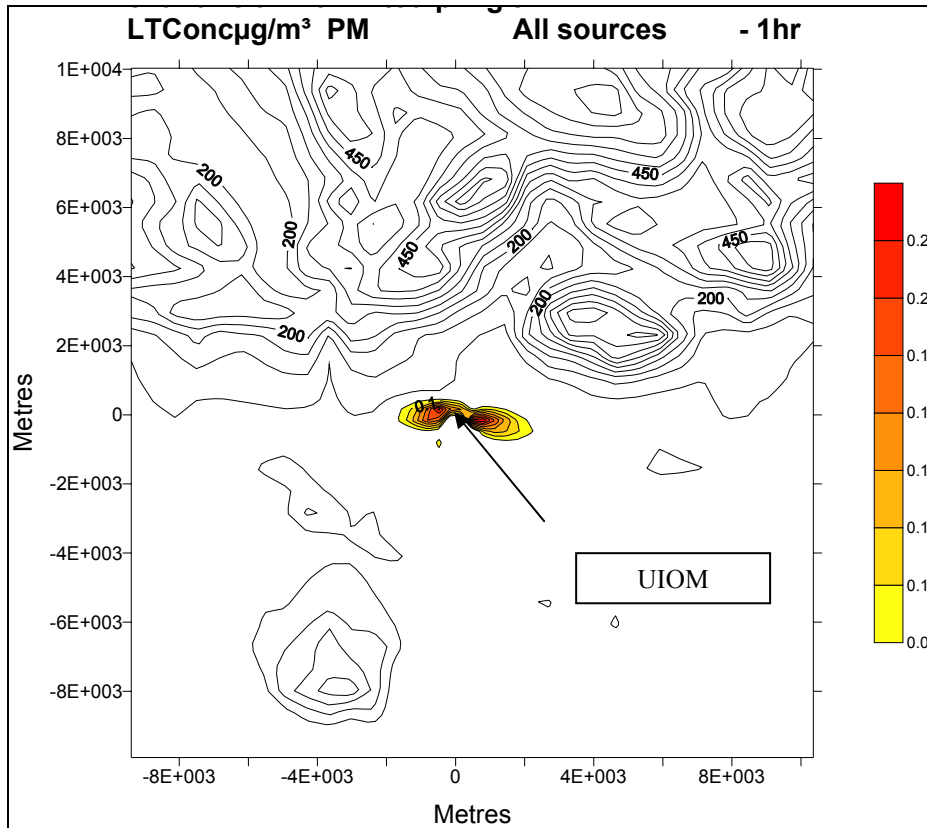
Les limites principales de la démarche sont :

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

Premiers résultats

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

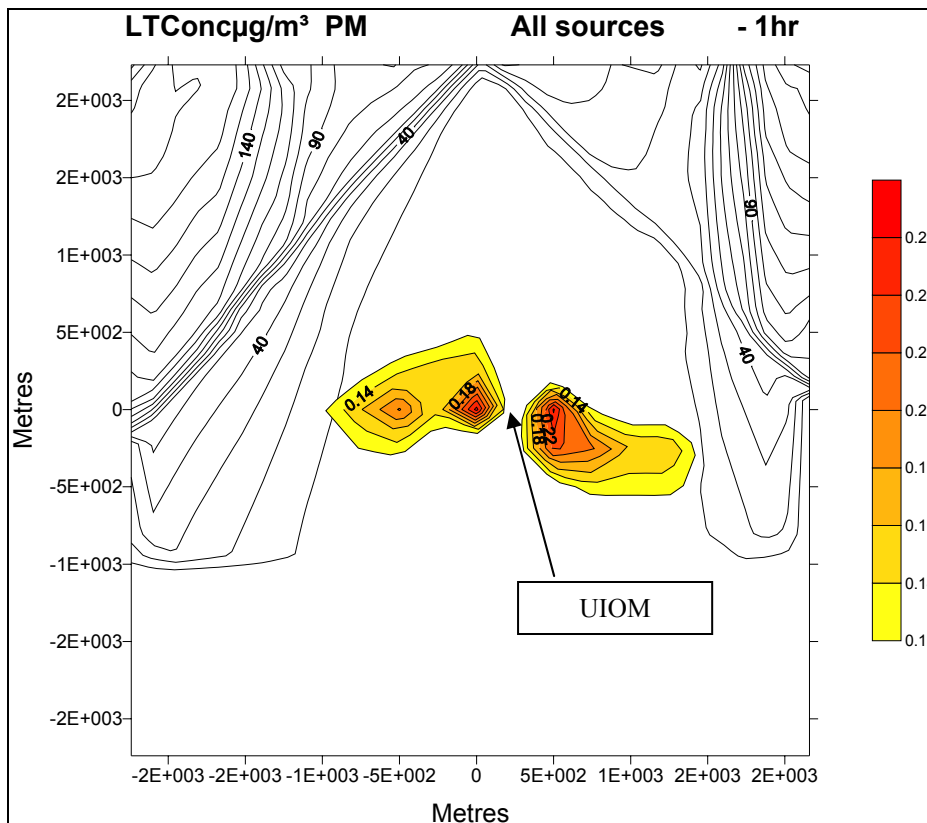


Domaine de 20x20 km

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 retombées du panache de l'UIOM retombent majoritairement dans les premiers kilomètres.



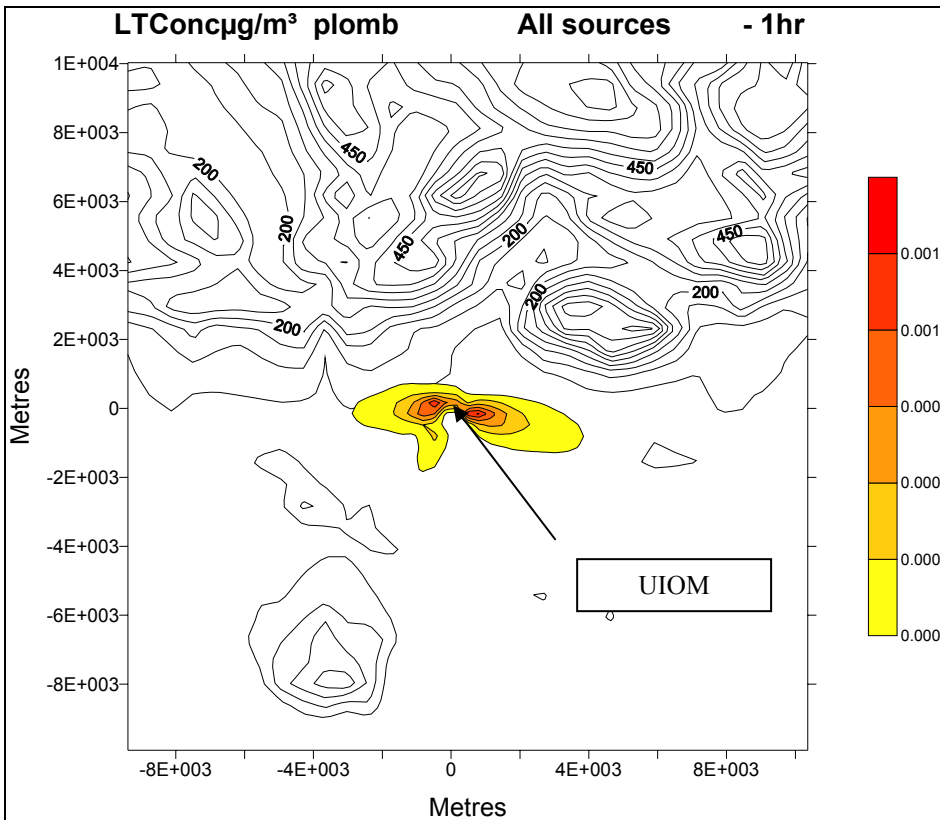
Domaine de 4x4 km

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.

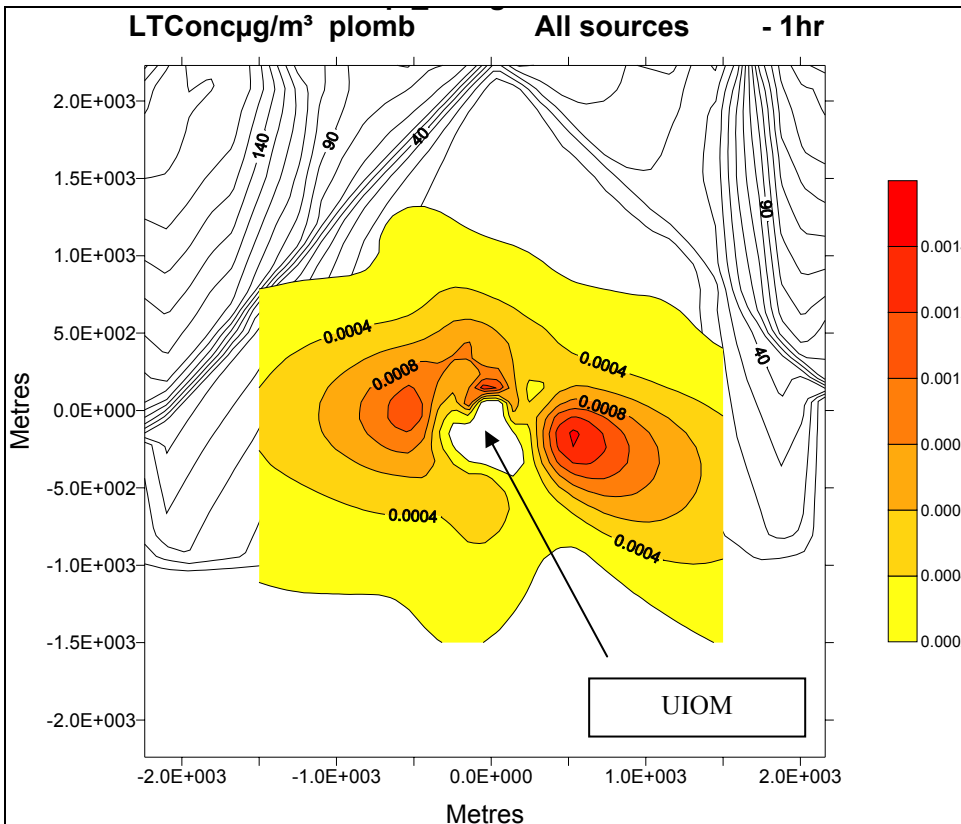
Les niveaux maximums estimés pour les particules sont $0.22 - 0.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les teneurs diminuent fortement au-delà des deux premiers kilomètres.

**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 maximums sont à l'Est et à l'Ouest de la cheminée (sous les vents dominants)
- Les retombées maximums 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 : $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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**.

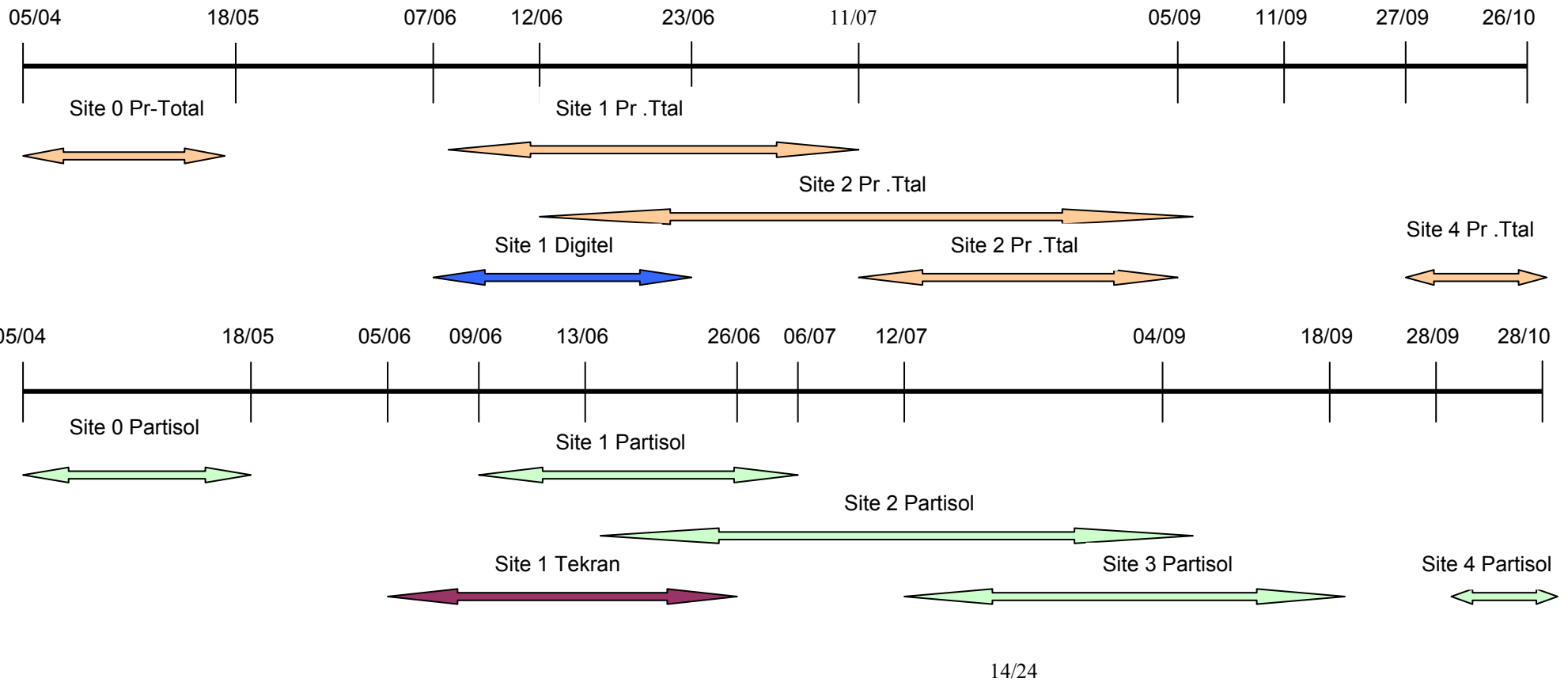
Le préleveur utilisé est un Partisol Plus mobile configuré en PM10, c'est à dire qu'il ne prélève que les particules les plus fines en relation avec l'orientation européenne. L'échantillonnage est journalier sur des filtres téflon et les analyses sont réalisées en Absorption Atomique four ou ICP-AES 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 23 juin 2001 sur le site 2 au stade Bonrencontre. 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



Premiers résultats de métaux lourds prélevés par le Partisol Plus

Tableau récapitulatif des niveaux en métaux relevés sur les sites 0 à 3 en 2001

		Cd	Pb	Ni ¹	Zn	V ¹	Cu	Ca	Fe
Site 0 10/03 au 18/05	Moy	0.4	6.7	19.2	65.1	6.9	14	967.5	349.2
	Ecart type	0.31	3.9	8.8	38.1	2.7	5.1	487.7	151.3
	max	1.3	17.5	36.0	164.3	16.7	28.4	2479.8	713.7
Site 1 7/06 au 07/07	Moy	0.39	7.7	13.9	57.1	6.9	15.2	1259.6	423.7
	Ecart type	0.45	5.8	3.5	35.2	1.5	5.5	495.4	172.2
	max	2.24	30.1	54.3	165.1	12.8	26.2	2207.4	846.3
Site 2 11/06 au 26/07	Moy	0.58	7.1	13.2	74.9	7.4	18.5	1449.6	468.7
	Ecart type	1.48	4.7	4.1	34.4	4.1	7.9	713.8	182.2
	max	9.65	27.9	25.4	185.4	13.8	35	3373.2	828.1
Site 3 15/07 au 08/08	Moy	0.24	7.5	11.2	63.6	8.3	13.8	1154.5	375.4
	Ecart type	0.27	8.6	8.5	44.8	3.1	10.0	587.1	259.4
	max	1.3	40.1	15.1	186.4	17.7	44.8	2812.5	1137.3
Référence annuelle	/	5*	500	20-50*	/	/	/	/	/

En ng/m³

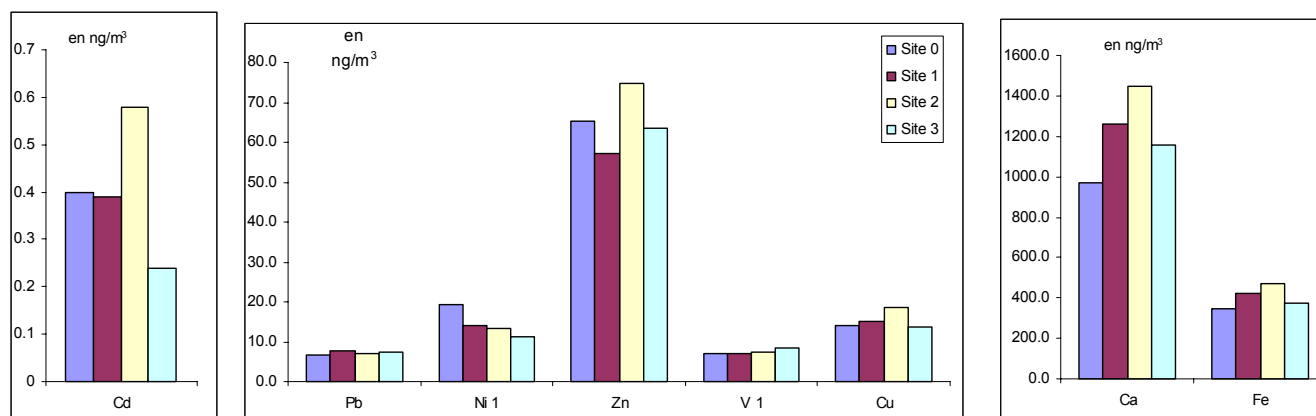
LD : Limite de Détection * projet

Ce tableau indique que les variations de concentrations moyennes de ces métaux sont faibles d'un site à l'autre. Les teneurs mesurées sur ces périodes respectent *a priori* les normes ou les projets de norme européenne :

- **Facteur 10** pour le cadmium (projet de valeur limite annuelle : 5 ng/m³ – niveaux mesurés : 0.24 à 0.58 ng/m³)
- **Facteur 100** pour le plomb (valeur limite européenne de 500 ng/m³ – niveaux mesurés : 6.7 à 7.7 ng/m³).
- **Proche du projet** le plus contraignant de valeur limite pour le Nickel (20 ng/m³) sur le site de la maison de la qualité, **facteur 2** pour les autres sites (niveaux mesurés : 11.2 à 19.2 ng/m³).

Niveaux moyens sur les périodes

Histogramme des concentrations moyennes de métaux lourds particulières relevées par site en 2001



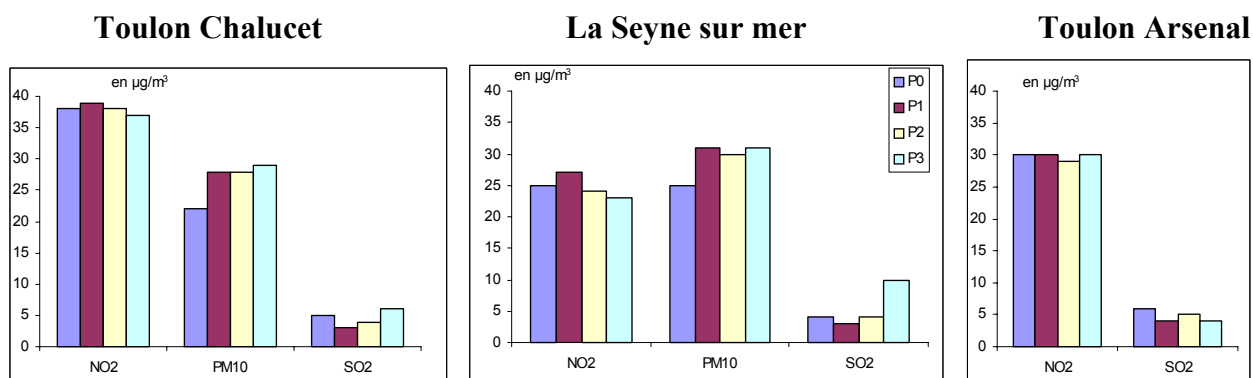
Les teneurs en métaux sur les trois sites sont assez proches. Le site 2, au stade Bon Rencontre relève néanmoins les teneurs moyennes les plus élevées pour le cadmium, le zinc, le cuivre et le fer.

¹ site 0 : du 19/04 au 02/05 ; site 1 : 9/06 au 26/06 ; site 2 : 10/07 au 24/07 ; site 3 : 01/08 au 07/08

Niveaux moyens sur les mêmes périodes pour les polluants mesurés en permanence sur la ville

Le dispositif de surveillance permanent sur l'agglomération toulonnaise est constitué de six stations. Les mesures automatiques réalisées sur ces sites ne sont pas spécifiques de l'activité de l'UIOM. Elles sont, par conséquent, sans doute, peu pertinentes pour identifier l'impact de l'unité. Elles peuvent néanmoins permettre d'évaluer si les périodes de mesures étaient très différentes en matière de capacité dispersive de l'atmosphère.

Niveaux de SO₂, NO₂ et PM10 relevés sur trois sites permanents du réseau toulonnais pendant les périodes relatives aux échantillonnages sur les sites 0 à 3 en 2001



Ces résultats indiquent que les périodes de mesures relatives aux sites 1 à 3, P1 à P3, sont assez proches. Seule la première période P0 s'illustre par des niveaux de NO₂ et de particules plus faibles, en relation avec des conditions météorologiques plus dispersives. La période P2 ne semble pas moins favorable à la dispersion des polluants dans l'atmosphère que P1 et P3.

La hausse constatée des concentrations de certains métaux sur le site 2, pendant la période P2, n'est donc pas uniquement liée à l'aspect plus ou moins dispersif de l'atmosphère, mais pourrait être reliée à l'influence d'une ou plusieurs sources locales.

Niveaux maximums journaliers de métaux lourds

Les maximums journaliers enregistrés pendant ces campagnes sont également modérés :

➤ 9.65 ng/m^3 pour le cadmium	➤ 40.1 ng/m^3 pour le plomb	➤ 54.3 ng/m^3 pour le nickel
---	---	--

Aucune tendance de ces niveaux maximums journaliers ne se détache nettement.

Histogramme des concentrations maximums de métaux lourds particulières relevées par site en 2001

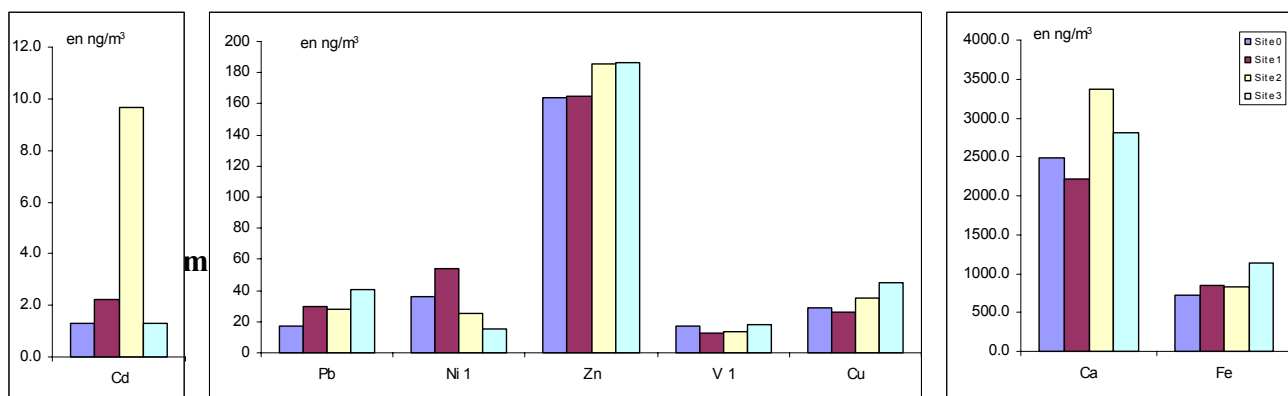


Tableau récapitulatif des concentrations élémentaires de métaux lourds (fraction PM10)

Typologie	localisation	période	Ba	Ca	Cd	Cu	Fe	K	Mg	Na	Pb	Zn	V	Ni
U et T	Marseille ¹	2000			0.4-2.1	14-26	420-637				7-17		11	6-7
U et T	Aix en Provence ¹	2000			0.2-0.9	12					5-7		15	8-11
I et U	France ²	1999-98	32.4	366	1.7	13.7	308	189	117	1036	69.5	99.9	/	
U	France ³	1989			0.27	3.3					54.9	15.8		
R	Portugal ⁴	1993-94		450	0.87	13.1	83.5	630	870	7470	44.6	31.8		
U	Grande Bretagne ⁵	1992		208		38.7	301	199		1050	91	353		

Concentrations exprimées en ng/m³

U : Urbain, I : Industriel, T : Trafic, R : Rural

Les teneurs de cadmium, de plomb, de vanadium, de fer et de cuivre trouvées sur les sites toulonnais sont comparables, voire inférieures à celles de Marseille et Aix en Provence hors source industrielle locale.

Les concentrations de calcium semblent nettement plus élevées que celles de la littérature, notamment sur les sites du Collège de la Marquisane et du stade Bon Rencontre (> 1000 ng/m³) alors que les niveaux maximums relevés sur d'autres sites s'étalent de 208 à 450 ng/m³. Ce composé ne constitue pas un risque sanitaire aux teneurs rencontrées. Il est, en revanche, un candidat sérieux pour tracer l'influence de l'usine. Rappelons que dans le procédé de combustion il y a un ajout de lait de chaux (CaO). La roche majoritaire dans ce secteur est, néanmoins, du calcaire, source de calcium (CaCO₃).

Concernant le plomb, on observe des écarts importants entre les différentes études. Ce composé a été définitivement banni de l'essence en 2000, mais il a fait l'objet de réductions progressives avant cette date dans les carburants en Europe. Les références européennes antérieures à 2000 sont donc peu représentatives.

Les références bibliographiques sont néanmoins peu nombreuses sur ces thèmes, ce qui rend difficile toute conclusion concernant les teneurs rencontrées sur les premiers sites échantillonnés à Toulon par rapport à ceux d'autres études.

Première campagne de mesure du mercure gazeux – site du Collège de la Marquisane

L'analyseur automatique de mercure de marque TEKRAM a été mis en œuvre par l'INERIS du 5 au 26 juin 2001.

¹ Airmarais, Qualité de l'air de l'Est des Bouches du Rhône, du Var et du Vaucluse : bilan d'activité 2001, 2001.

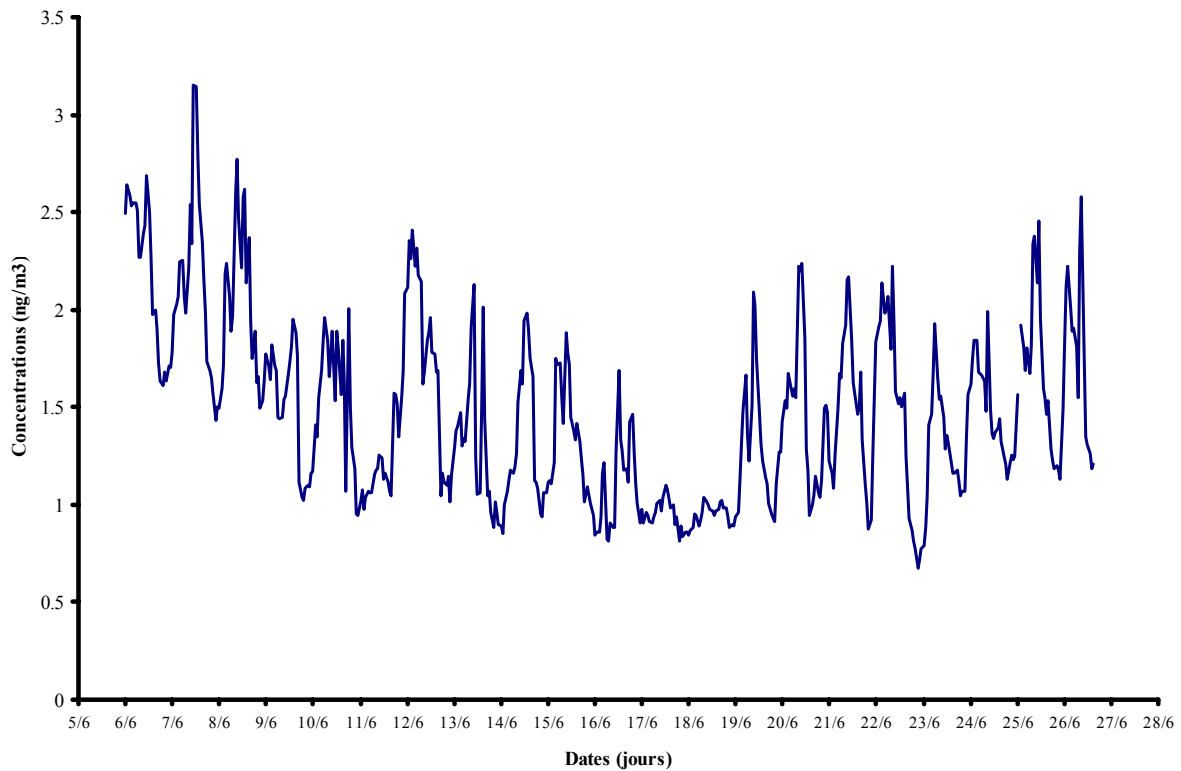
² A. Robache, Caractérisation des aérosols dans l'air ambiant : application à la recherche de source, Université des sciences et techniques de Lille, Ecole des Mines de Douai, 2001.

³ G. Thymen, A. Foll, P. Henaf and J.P. Laizne, Impact sur l'environnement d'une usine de traitement des déchets urbains : cas de l'UIOM de Brest, Poll. Atmos. 126, 1990.

⁴ C.A. Pio, L.M. Castro, M.A. Cerquiera, I.M. Santos and e. al, Source assessment of particulate air pollutants measured at the southwest european coast, Atmospheric Environment 30 (19), 1996.

⁵ R.M. Harrison, D.T.J. Smith, C.A. Pio and L.M. Castro, Comparative receptor modelling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom), Coimbra (Portugal) and Loahore (Pakistan, Atmospheric Environment 31(20), 1997.

Evolution des niveaux de mercure gazeux relevés du 5 au 26 juin 2001 au Collège de La Marquisane



Les teneurs quotidiennes enregistrées sur ce site s'étalent de 0.7 à 3.1 ng/m³, pour une moyenne de **1.42 ng/m³**. Ces teneurs restent nettement inférieures au projet de norme européenne de **50 ng/m³** en moyenne annuelle.

On observe une forte variation des niveaux de mercure gazeux entre le jour et la nuit (niveaux plus élevés pendant la journée).

Le maximum a été relevé le 7 juin 2001 avec **3.1 ng/m³**.

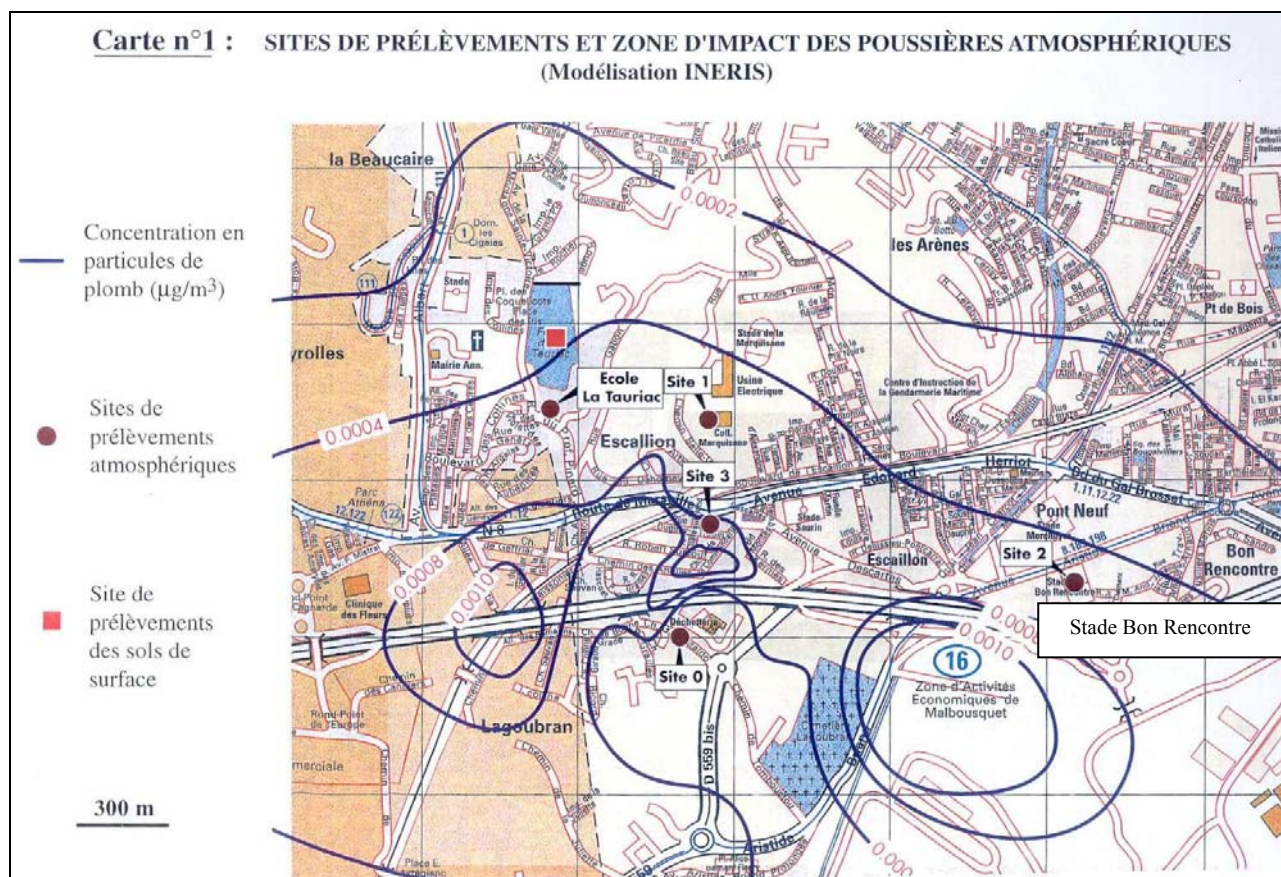
Cette première campagne n'a pas permis de mettre en évidence de composés liés à l'activité de l'UIOM. Les teneurs relevées sur l'ensemble des secteurs échantillonnés sont faibles pour les composés normalisés.

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'Ouest de la cheminée**, sous le Mistral, site échantillonné 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 1^{er} mars 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, NO₂, SO₂, 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).

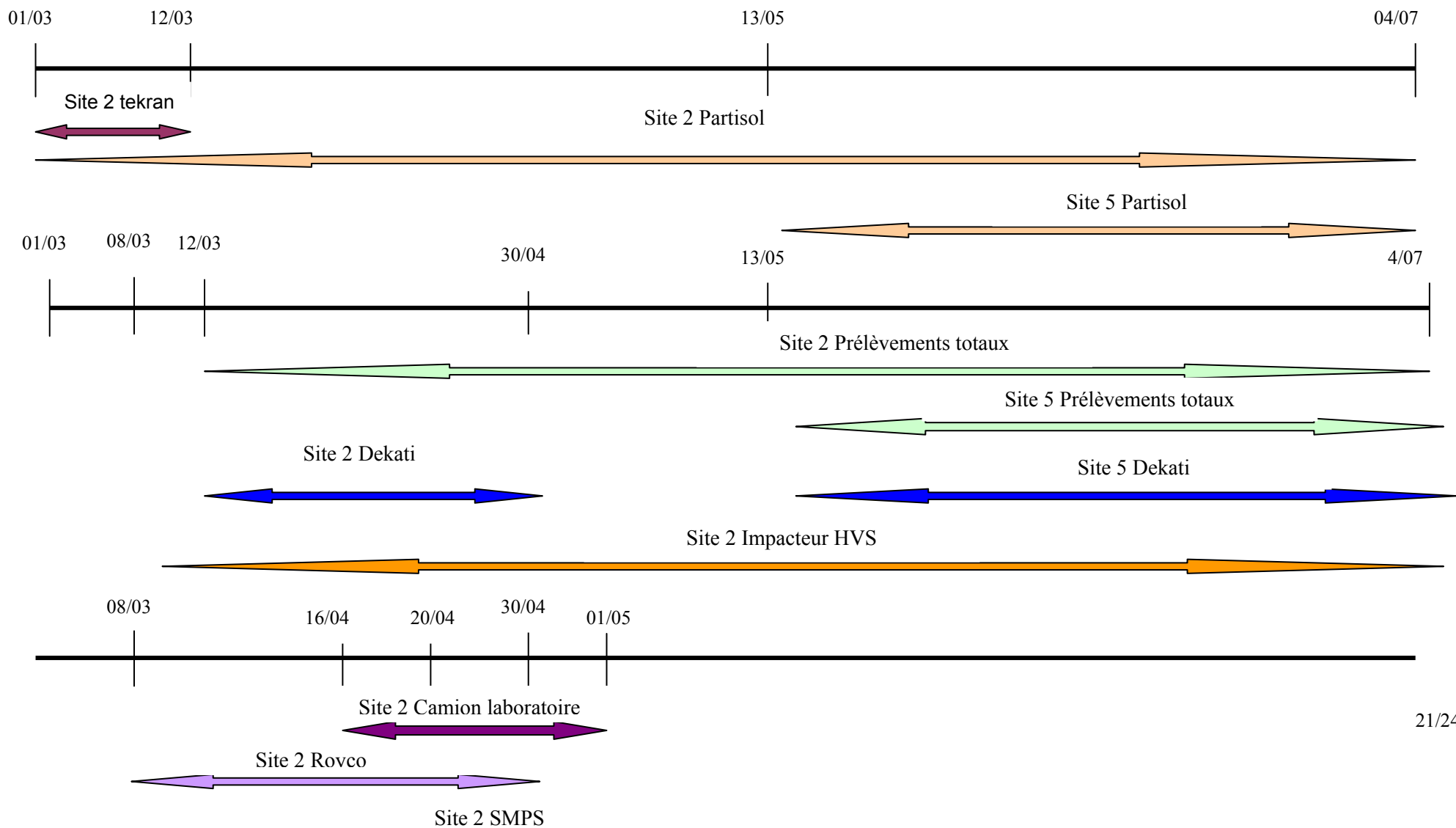
L'ensemble de ces analyses vise à décrire les niveaux des principaux gaz présents dans l'atmosphère sur ces sites (NO_x, SO₂, Hg, CO).

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

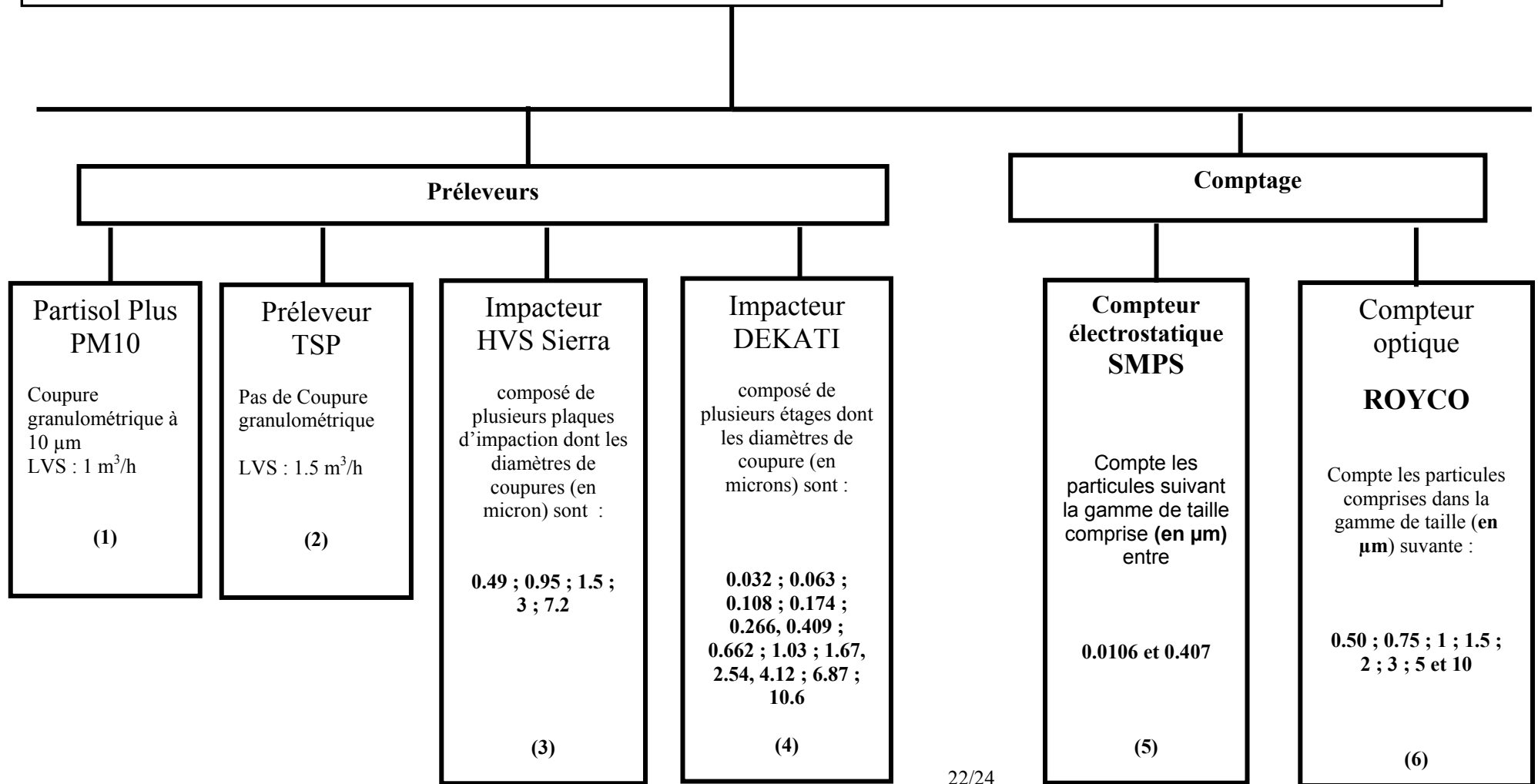
- La concentration massique des PM10 (paramètre réglementé)
- Le nombre et la taille des particules
- La nature chimique des particules (métaux, ions...).

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

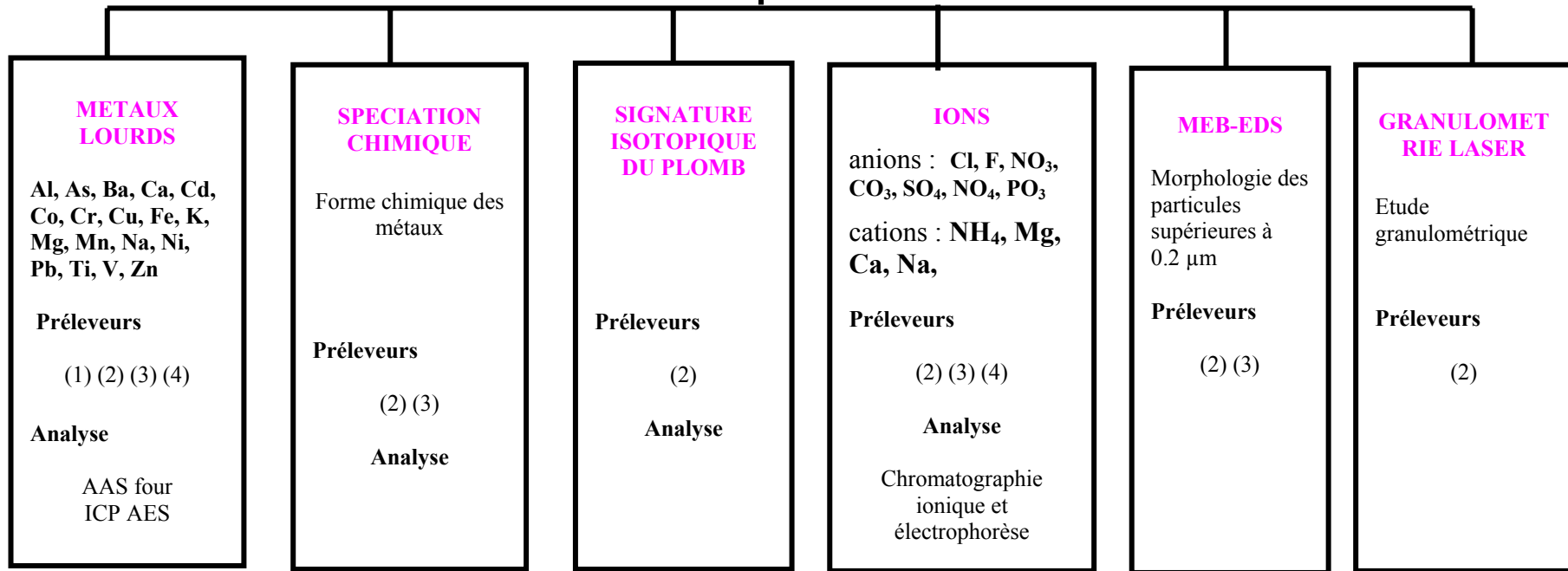
Calendrier de la campagne du 1^{er} mars au 4 juillet 2002



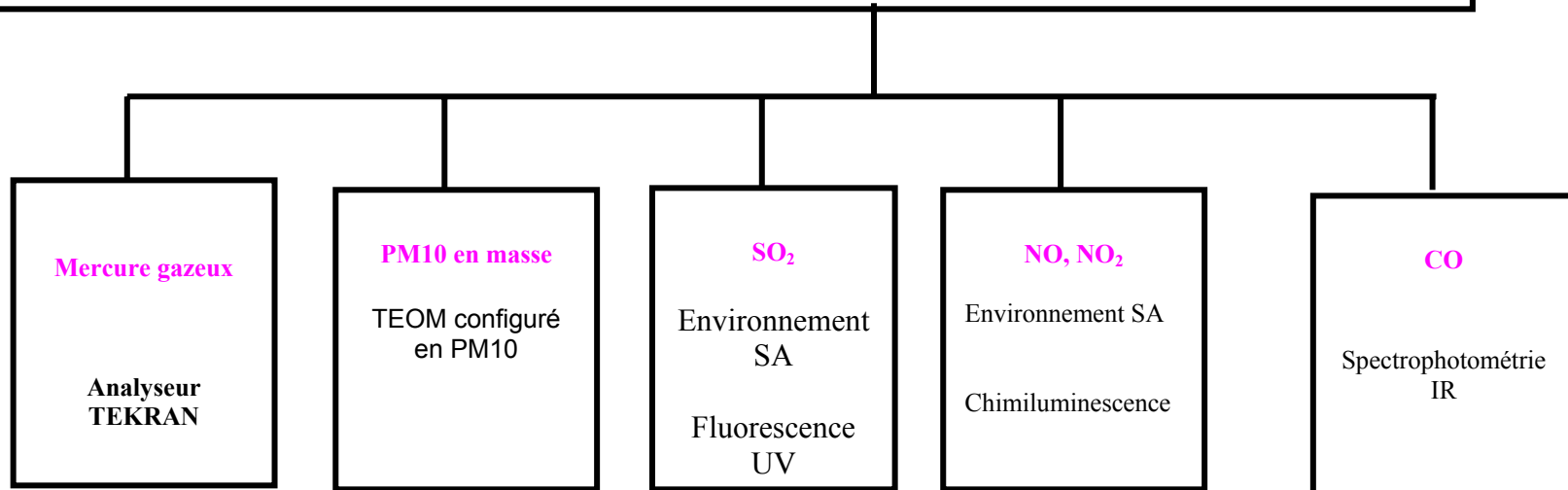
Mode prélèvement et de comptage des particules



TRAITEMENT ANALYTIQUE DES ECHANTILLONS RECUEILLIS PAR LES PRELEVEURS



Analyseurs continus de gaz et de particules



CONCLUSION ET PERSPECTIVE

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 semblent montrer que la contribution moyenne annuelle de l'UIOM sur le domaine est **relativement faible** :

- 1 ng/m³ sur 10-20 ng/m³ pour le plomb
- 0.22 µg/m³ pour les particules en suspension pour une teneur moyenne de la zone entre 20 et 30 µg/m³.

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 largement les normes ou projet de norme pour ces sites :

- **facteur 100** pour le plomb (6.7 à 7.7 ng/m³ – valeur limite européenne : 500 ng/m³)
- **facteur 10** pour le cadmium (0.2 à 0.6 ng/m³ – projet de valeur limite : 5 ng/m³)
- **facteur 50** pour le mercure (1.42 ng/m³ – projet de valeur limite : 50 ng/m³)
- **facteur 1 à 2** pour le nickel (11 à 19 ng/m³ – projet de valeur limite entre 20 et 50 ng/m³).

Concernant le nickel, les teneurs sont proches du projet de valeur limite européenne le plus contraignant (20 ng/m³) sur le site 0 (Maison de la qualité).

Ces premières mesures mettent également en évidence la difficulté d'identifier l'influence de l'UIOM sur les niveaux, même pour des composés qui paraissent assez spécifiques *a priori* (Cd, Pb,...).

Les teneurs relevées sur le site 2 (stade Bon Rencontre) sont légèrement supérieures à celles des trois autres sites pour le cadmium, le zinc, le cuivre et le fer parmi les métaux pris en compte dans ce rapport.

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

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

Sur ces deux sites des **moyens lourds** de mesures automatiques et de prélèvements ont été mis en œuvre **du 1^{er} mars au 4 juillet 2002**. L'objectif est 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_x, SO₂, CO, PM10) mesurés par le camion laboratoire, de la mesure du mercure gazeux, mais également d'une analyse poussée de l'aérosol (masse, nombre, taille, nature chimique).

L'analyse des échantillons et des premiers résultats se déroulera jusqu'à la fin de l'année 2002. Les résultats pourront donner lieu à une dernière campagne de mesure en 2003 pour vérifier les hypothèses qui seront formulées dans le cadre de l'exploitation des données.