

Évaluation et surveillance de l'impact d'une usine d'incinération d'ordures ménagères en région parisienne

Evaluation and monitoring of an household waste incineration plant in Paris area

Alain PERSON (1), Yvon LE MOULLEC (1), Elisabeth GILIBERT (2)

RÉSUMÉ

La qualité de l'air et l'élimination des déchets sont deux sujets qui sensibilisent de plus en plus la population. La région parisienne possède trois usines d'incinération de grande capacité dont la dernière sera équipée de traitements des fumées en juin 1995. Il est apparu intéressant de tenter de caractériser et d'évaluer l'impact des rejets de l'usine sur la qualité de l'air environnant dans un milieu où de nombreuses autres sources de pollution interfèrent.

Une campagne de mesure a été réalisée sur six sites du réseau de surveillance de la qualité de l'air en région parisienne (AIRPARIF). Les polluants mesurés en continu sont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les fumées noires. Des mesures complémentaires ont été réalisées pour des paramètres plus spécifiques de l'incinération comme les métaux lourds (Cd, Zn, ...), l'acide chlorhydrique et les chlorures.

Les premiers résultats permettent de dégager plusieurs tendances. En ce qui concerne les indicateurs classiques de surveillance de la qualité de l'air, il apparaît que lorsque les sites sont placés sous le vent de l'usine d'incinération, les niveaux moyens relevés sont plus élevés que pour le site de référence (au vent de l'usine). Pour HCl, les teneurs sont également plus élevées lorsque le site est durablement sous le panache au cours de la journée. Le nombre de données est encore insuffisant pour les métaux ; il semble cependant qu'un impact soit décelable pour Cd et Zn.

ABSTRACT

Urban population is more and more concerned by air quality and waste disposal. In Paris area, municipal waste are incinerated in three large plants all equipped with gas cleaning systems, except one that will be equipped in June 1995. It appeared interesting to characterize and evaluate the impact of this incinerator on ambient air quality in an area where other sources interfere.

An sampling campaign was set up on six sites of AIRPARIF (Ile de France Air Quality Monitoring Network). Nitrogen oxydes, sulphur dioxide and black smokes are measured in continuously. Other pollutants, considered more specific of waste incineration plants were analyzed on a 24h-sampling basis (heavy metals, hydrochlorid acid, chlorides).

The first results seem to show some trends. Regarding usual pollutants, it appears downwind sites present higher average level than upwind sites. For hydrochloric acid, 24h averages are higher when the site was frequently downwind during the day. The size of the data set is small for heavy metals, however it seems that an impact can be detected for Cd and Zn.

1. Introduction

La qualité de l'air et l'élimination des déchets sont deux sujets qui sensibilisent de plus en plus la population. En région parisienne, l'incinération des déchets prend une place particulièrement importante. La collecte et le traitement des déchets y sont assurés par le Syctom (Syndicat Intercommunal Central de Traitement des Ordures Ménagères) qui regroupe 83 communes. Environ 75 % des

2,4 millions de tonnes de déchets produits en 1994 ont été incinérés dans trois usines de grande capacité (> 500 000 t/an) implantées à la périphérie de Paris.

Pour satisfaire à l'évolution réglementaire, le SYCTOM a entrepris un programme de modernisation. Actuellement, deux des trois usines d'incinération des ordures ménagères (UJOM) sont conformes aux dispositions de l'arrêté du 25 janvier 1991 par anticipation par rapport à la date butoir du 1^{er} décembre 1996 :

— l'usine de Saint-Ouen, mise en service en 1990, possède 3 fours-chaudières et une cheminée de 100 mètres. Le traitement des fumées est

(1) Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, 11, rue Georges Eastman, 75013 Paris.

(2) AIRPARIF, 10, rue Crillon, 75004 Paris.

assuré par 6 laveurs. En 1994, 650 000 tonnes y ont été incinérées.

— l'usine d'*Issy-les-Moulineaux*, mise en service en 1965, possède 4 fours-chaudières et deux cheminées de 80 mètres. Elle a été équipée d'un dispositif de traitement des fumées par voie humide en 1993. En 1994, 500 000 tonnes y ont été incinérées.

L'usine d'*Ivry-sur-Seine* complète le dispositif. En service depuis 1969, elle possède 2 fours-chaudières et une cheminée de 100 mètres. La mise en service de laveurs et des nouvelles cheminées sont prévues en mai 1995. En 1994, 660 000 tonnes de déchets ont été incinérées.

De nombreux facteurs justifient l'intérêt d'évaluer l'incidence des rejets de l'UIOM d'Ivry sur la qualité de l'air environnant : sensibilité de la population, coût des investissements engagés, besoin d'accroître au cours des années à venir les capacités d'incinération en région parisienne... La population susceptible d'être exposée aux retombées du panache importante puisque 1 110 000 personnes résident à moins de 6 km autour de l'usine (1). Par ailleurs, les études sur le sujet sont rares ; en France, les seules données publiées intéressent l'agglomération de Brest (2).

L'objectif est d'étudier l'impact des rejets atmosphériques avant mise en conformité des installations. Ultérieurement, il s'agira d'évaluer l'influence du système de traitement des fumées. Les résultats devraient permettre de définir les moyens de surveillance permanents à mettre en place autour d'une UIOM.

L'objet de ce document est de présenter le dispositif de surveillance mis en place autour de l'UIOM et les résultats obtenus à l'issue des six premiers mois de mesure (janvier à juin 1994).

2. Matériels et méthodes

2.1. Les sites

Le choix des sites a été déterminé par l'étude de plusieurs critères :

- la diffusion théorique du panache en fonction des conditions météorologiques,
- l'analyse de la météorologie locale,
- la position des sites de mesure existants.

Une approche théorique par modélisation numérique des phénomènes de dispersion des polluants (résolution des équations de la mécanique des fluides et de la thermodynamique appliquée à l'atmosphère) montre que les zones affectées par le panache se situent généralement à plusieurs kilomètres de la source. Dans les situations météorologiques les plus fréquentes et compte tenu des caractéristiques des rejets (hauteur de cheminée : 100 m vitesse d'éjection des gaz : 29 m/s), le maximum d'impact est à prévoir à environ 2 km de la

source. Cependant, une incidence dans un champ plus proche de l'usine est prévisible dans des conditions météorologiques plus rares (vents faibles, panache réfléchi vers le sol par une inversion de température dans les basses couches) mais plus défavorables à la dispersion.

Au niveau régional, l'analyse des données météorologiques des années précédentes montre qu'il faut privilégier les mesures sur deux axes différents pour tenir compte de régimes de vent contrastés. Les vents de sud-est sont fréquents et dispersifs (fig. 1), alors que les régimes de nord-est, plus rares, sont associés à des vents faibles.

4 sites de mesure du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Ile de France (AIRPARIF) répondent aux critères précédents. Ils sont situés, de part et d'autre de l'usine, à des distances comprises entre 1,8 km et 6 km de la source, dans la zone de retombées des rejets supposée être la plus fréquente.

Un site complémentaire a été installé à 750 m de l'usine pour caractériser l'influence de conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion du panache.

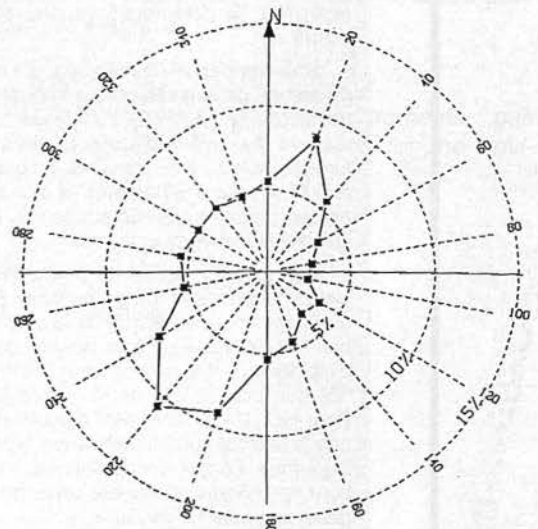


Figure 1.
Rose des vents à Trappes - 30 km sud-ouest de Paris (1988-1992).
Wind direction frequency in Trappes - 40 km south-west from Paris (1988-1992).

2.2. Choix des indicateurs à suivre

Une bonne connaissance des émissions au niveau régional est nécessaire pour apprécier la spécificité des indicateurs potentiels de la source étudiée. Les dispositions réglementaires (à l'émission et dans l'environnement) ainsi que la faisabilité technique ont également été pris en compte.

2.2.1. Spécificité des indicateurs

La figure 2 illustre les résultats d'un inventaire effectué par le CITEPA (3), relatif aux émissions

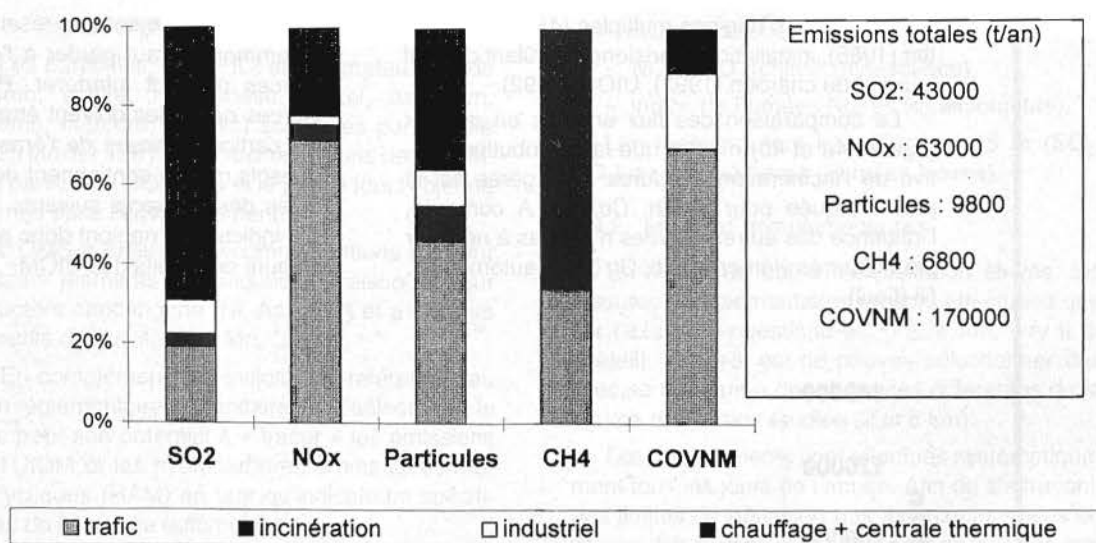


Figure 2.
Bilan annuel des émissions à Paris et en Petite Couronne (CITEPA - 1990).
Annual emissions in Paris and suburb close to Paris (CITEPA - 1990).

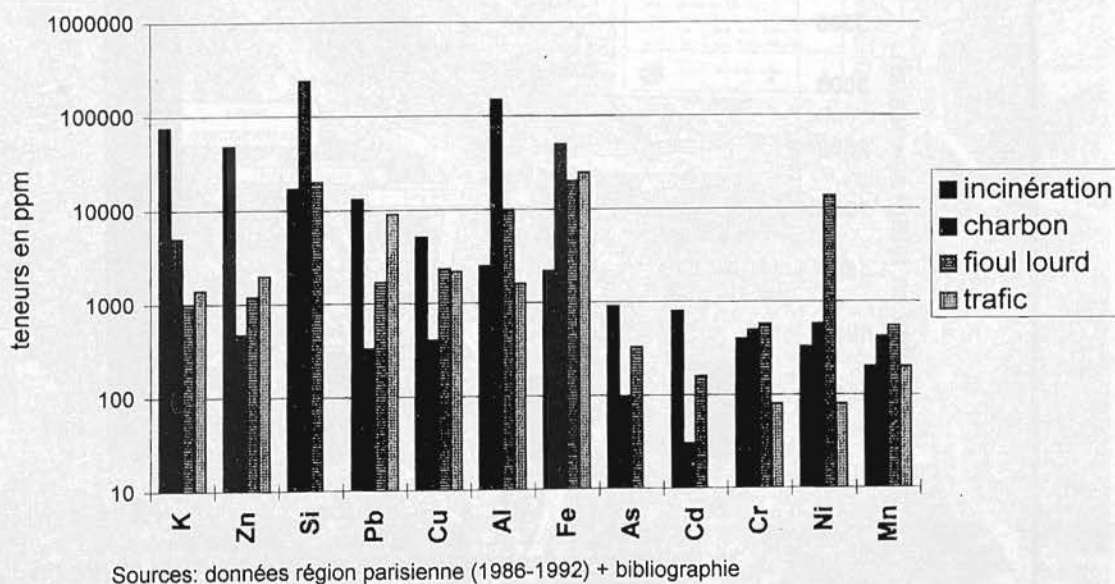
annuelles des sources fixes et mobiles à Paris et en petite couronne. Comparée aux autres sources anthropiques, la contribution des trois UIOM implantées à la périphérie de Paris est mineure pour les indicateurs classiques de surveillance de la qualité de l'air (SO₂, NO_x, particules en suspension).

Par contre, le chlore émis en grande quantité sous forme d'acide chlorhydrique et de chlorures, et les éléments métalliques constituent en principe de meilleurs indicateurs des rejets de l'incinération des ordures ménagères.

Pour ces derniers, la spécificité peut être appréciée en calculant et en comparant les flux annuels

générés par les différentes sources fixes et mobiles. Le calcul a été réalisé sur la base des flux annuels de particules estimés par le CITEPA et en tenant compte de la composition des particules à l'émission. Les résultats obtenus doivent être seulement considérés comme des ordres de grandeur, car la représentativité des profils sources mériterait d'être affinée en raison de mesures encore trop rares. Ainsi, pour certains éléments, les données sont insuffisantes (ex : As), voire inexistantes (ex : Hg).

La figure 3 illustre les profils sources jugés être représentatifs des principales sources locales. Les



Sources: données région parisienne (1986-1992) + bibliographie

Figure 3.
Composition en métaux des particules émises par les principales sources anthropiques.
Metals concentrations for particles emitted by main anthropic sources.

données sont d'origines multiples (4) : tunnel routier (1986), installations parisiennes brûlant du fioul lourd et du charbon (1992), UIOM (1992).

La comparaison des flux annuels en métaux (figures 4a et 4b) montre que la contribution relative de l'incinération d'ordures ménagères est la plus marquée pour K, Zn, Cd, As. A contrario, l'influence des autres sources n'est pas à négliger pour d'autres éléments : Pb, Cu (trafic automobile), Ni (fioul).

Indépendamment des réserves formulées précédemment, il faut garder à l'esprit que d'autres sources peuvent interférer. Parmi celles-ci, les sources naturelles doivent être prises en compte. Les particules issues de l'érosion des sols et les aérosols marins contiennent des quantités importantes des éléments suivants : K, Na, Al, Si, Fe. Ces indicateurs ne sont donc pas a priori de bons traceurs des rejets des UIOM.

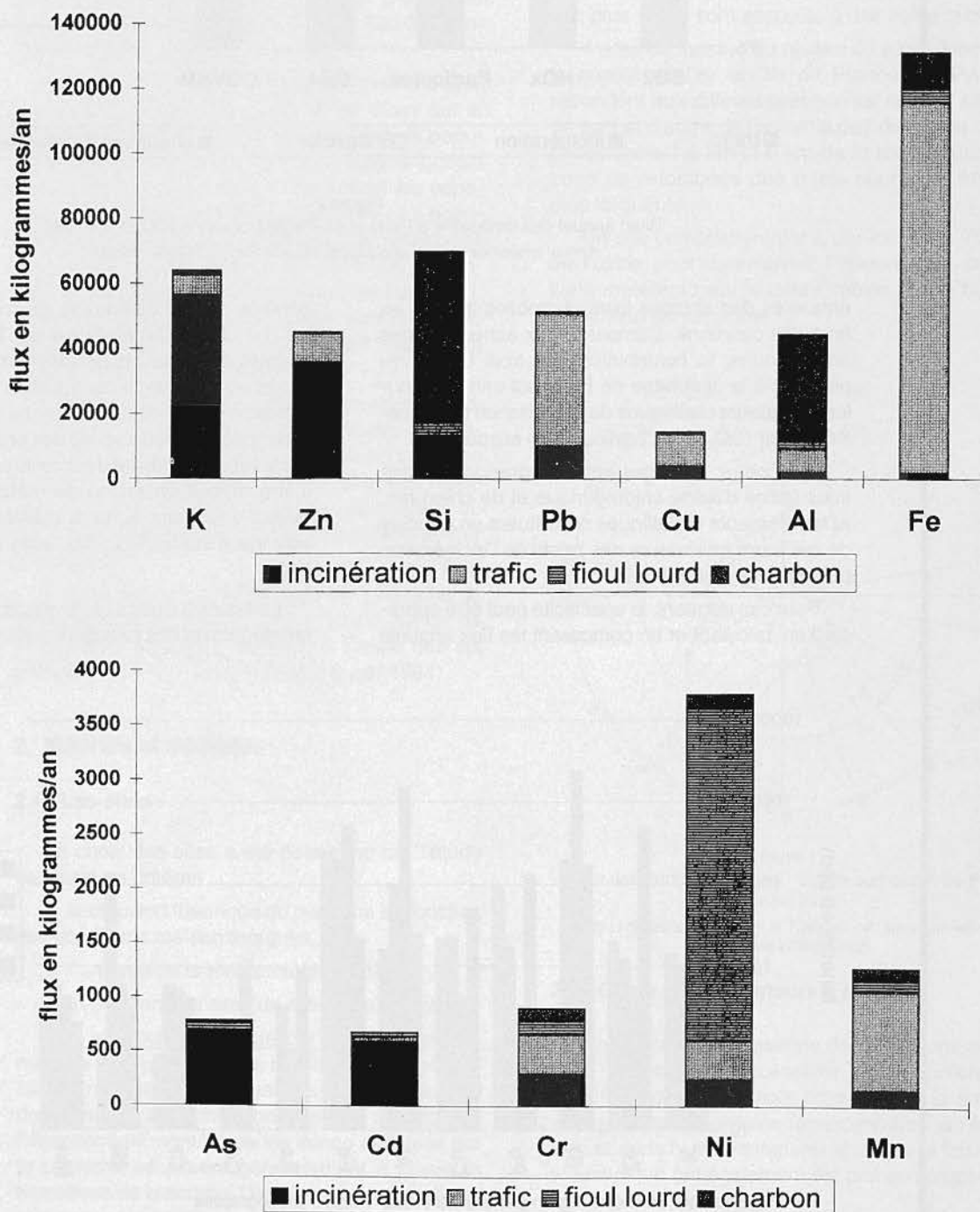


Figure 4a et 4b.
Flux annuels en métaux à Paris et en Petite Couronne.
Metals emissions in Paris and suburb close to Paris.

2.2.2. Aspect réglementaire

Les particules, SO₂, HCl et huit métaux lourds (plomb, cuivre, manganèse, nickel, cadmium, chrome, mercure, arsenic) sont visés par l'arrêté du 25 janvier 1991 relatif aux émissions des UIOM. Les particules, SO₂, NO₂ et le plomb font l'objet de normes dans l'environnement.

L'OMS a émis des recommandations (5) pour certains éléments métalliques en raison de leur caractère cancérigène (Ni, As et Cr) et a fixé des objectifs de qualité pour Mn, Cd, Hg.

En complément des indicateurs référencés au plan réglementaire ou sanitaire, on a sélectionné le zinc pour son potentiel à « tracer » les émissions de l'UIOM et les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) en tant qu'indicateurs spécifiques de la source automobile.

2.3. Description du dispositif de surveillance

La figure 5 précise l'implantation des sites retenus pour l'étude.

- **Axe nord-ouest/sud-est** : Paris XIII (1,8 km), Ivry II (2 km), Créteil (6 km),
- **Axe nord-est/sud-ouest** : Paris XII (2 km), Vitry (4 km).

2.3.1. Mesures en continu

Les polluants classiques de la surveillance de la qualité de l'air sont suivis en continu sur l'ensemble des sites du dispositif :

- SO₂ (fluorescence UV),
- NO et NO₂ (chimiluminescence),
- indice de Fumées Noires (réflectométrie).

Les mesures sont intégrées sur 15 m (SO₂, NO_x) ou sur une heure (Fumées Noires).

2.3.2. Mesures complémentaires

En raison de coûts d'exploitation élevés, les mesures complémentaires ne sont effectuées que sur l'axe nord-ouest/sud-est (Paris XIII, Ivry II et Créteil). L'intérêt est de pouvoir sélectionner des sites se trouvant à des distances différentes de la source d'émission étudiée (2 et 6 km).

Les prélèvements sont effectués systématiquement tous les jours de l'année. Afin de s'affranchir des limites de détection des techniques mises en œuvre, les durées d'échantillonnage doivent être suffisantes tout en restant compatibles avec la résolution temporelle des événements météorologiques. En conséquence, les durées d'échantillonnage sont de 24 heures.

Etant donné l'éloignement du site de Créteil, les échantillons prélevés ne sont analysés que lorsque ce dernier est susceptible d'être sous le panache de l'usine et par vent bien établi (secteur de 290° à 350°).

Techniques de prélèvement et d'analyse

Les chlorures particulaires et l'acide chlorhydrique sont collectés respectivement sur des filtres

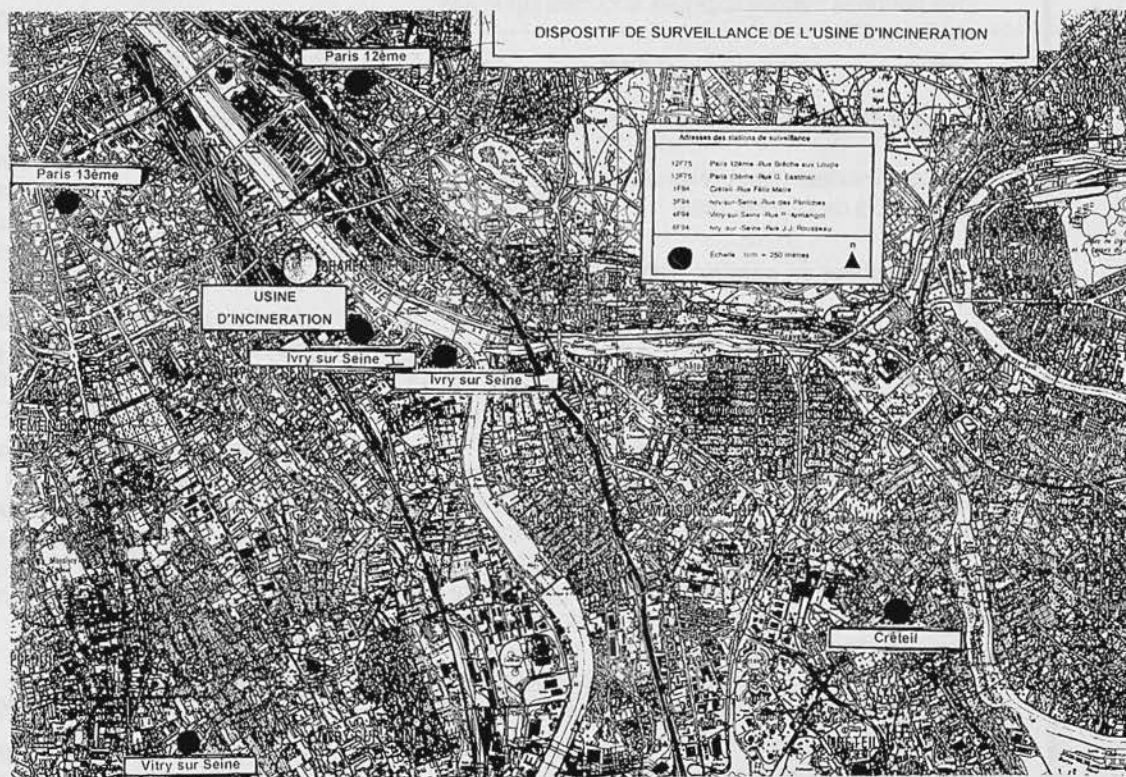


Figure 5.
Implantation des sites de mesure autour de l'UIOM.
Location of sampling sites around the incinerator.

(diamètre 50 mm, porosité 0,45 mm) en PTFE (Sartorius - ref. 11806-50 N) et en nylon (Sartorius - sartolon ref. 25 006-50 N) introduits dans des porte-filtres montés en tandem, conformément à la technique décrite par Harriison (6). Les débits sont de 55 l/h. Après extraction par de l'eau distillée, les analyses sont réalisées par électrophorèse capillaire.

Les métaux sont prélevés à 1 m³/h sur des filtres en nitrile de cellulose (Sartorius SM 11305 - porosité 0,65 µm - diamètre : 47 mm). Après minéralisation en bombe téflon par de l'acide nitrique (2 heures à 80° C), les analyses sont réalisées en spectrophotométrie d'absorption atomique.

Les hydrocarbures aromatiques monocycliques sont prélevés sur des cartouches de charbon actif. Après désorption par du sulfure de carbone, les analyses sont effectuées par chromatographie en phase gazeuse.

2.3.3. Données météorologiques

La direction et la vitesse du vent sont mesurées par le site Paris. Les mesures sont intégrées sur 15 minutes. Ces données permettent de sélectionner, pour le site de Créteil, les journées d'intérêt pour l'analyse des polluants complémentaires.

Par ailleurs, les données horaires de Météo-France obtenues sur 4 sites localisés dans Paris et en banlieue proche (Paris-Montsouris et Tour Saint-Jacques, Saint-Maur et Orly) sont régulièrement interprétées afin de juger de la pertinence des données météorologiques acquises sur le site de Paris XIII.

3. Résultats et discussion

Les résultats sont présentés pour les six premiers mois de l'année 1994.

3.1. Mesures en continu (NO_x, SO₂, FN)

3.1.1. Niveaux d'exposition sur les six sites du dispositif de surveillance

La figure 6 représente la moyenne, le minimum et le maximum des concentrations moyennes, mesurées sur les six sites du dispositif de surveillance de l'usine d'incinération. On a considéré NO_x (NO + NO₂, exprimé en µg/m³ de NO) pour s'affranchir des réactions de transformation de NO en NO₂. La moyenne « agglomération parisienne » représente, pour chaque paramètre, la moyenne des concentrations mensuelles relevées sur les 35 sites de mesure de la qualité de l'air de l'agglomération parisienne (Paris et zone agglomérée).

Les teneurs observées sur les sites autour de l'usine d'incinération sont de l'ordre de 18 µg/m³ pour SO₂, 60 µg/m³ pour NO_x et 15 µg/m³ pour FN. Elles ne s'écartent pas sensiblement des valeurs de référence relatives à l'ensemble de l'agglomé-

ration. Cependant, pour les mois d'avril, mai et juin, les sites du dispositif de surveillance enregistrent des niveaux en SO₂ supérieurs de l'ordre de 5 µg/m³ par rapport au reste de l'agglomération.

Les écarts entre les différents sites du dispositif de surveillance sont de l'ordre de 10 µg/m³ pour SO₂ et FN et d'environ 20 µg/m³ pour les NO_x. Les niveaux de NO_x sont régulièrement plus élevés sur les sites d'Ivry II et de Créteil. Le site le plus proche de l'usine (Ivry I) se distingue par des teneurs systématiquement plus importantes en SO₂, de l'ordre de 10 µg/m³ au-dessus de la moyenne.

3.1.2. Niveaux observés au vent et sous le vent de l'usine d'incinération

Dans une première approche, on a retenu uniquement les données obtenues pour des vitesses de vent comprises entre 2 et 5 m/s. En effet, pour une vitesse de vent inférieure à 2 m/s, la direction mesurée a une signification contestable et à plus de 5 m/s, l'effet dispersif est a priori trop grand pour que l'influence du panache soit décelable (sauf de manière très localisée).

Les données horaires mesurées pour chaque site ont été triées en fonction de la direction du vent, en utilisant un secteur de vent de 60°, plaçant le site étudié sous le vent de l'usine.

Les figures 7 et 8 représentent les teneurs moyennes des sites sous le vent, comparées à celles du (des) site(s) pris en référence.

Axe nord-est/sud-ouest (Paris XII et Vitry)

Pour SO₂ et NO_x, le site placé sous le vent de l'UIOM présente toujours un niveau moyen supérieur au site de référence :

– par vent de secteur sud-ouest, les teneurs moyennes mesurées sur le site Paris XII sont respectivement de 77 et 17 µg/m³ pour NO_x et SO₂, ce qui correspond à des incréments de 14 et 4 µg/m³ par rapport au site de Vitry

– par vent de secteur nord-est, les concentrations moyennes sont de 48 et 19 µg/m³ pour NO_x et SO₂. Ces valeurs dépassent celles du site Paris XII de 4 et 3 µg/m³ pour NO_x et SO₂.

Le phénomène n'est pas similaire pour l'indice FN. En effet, les niveaux moyens relevés à Paris XII sont toujours supérieurs à ceux de Vitry même lorsque ce dernier site est placé sous le vent de l'usine. On peut cependant noter que l'écart entre les deux sites diminue lorsque Vitry est sous le vent.

Axe nord-ouest/sud-est (Paris XIII, Ivry I, Ivry II et Créteil)

Par vent de nord-ouest, les niveaux enregistrés sous le vent de l'UIOM sont plus élevés que ceux mesurés sur le site de Paris XIII. Ce site de référence présente des niveaux de l'ordre de 60 µg/m³ pour NO_x, 19 µg/m³ pour SO₂ et 17 µg/m³ pour FN.

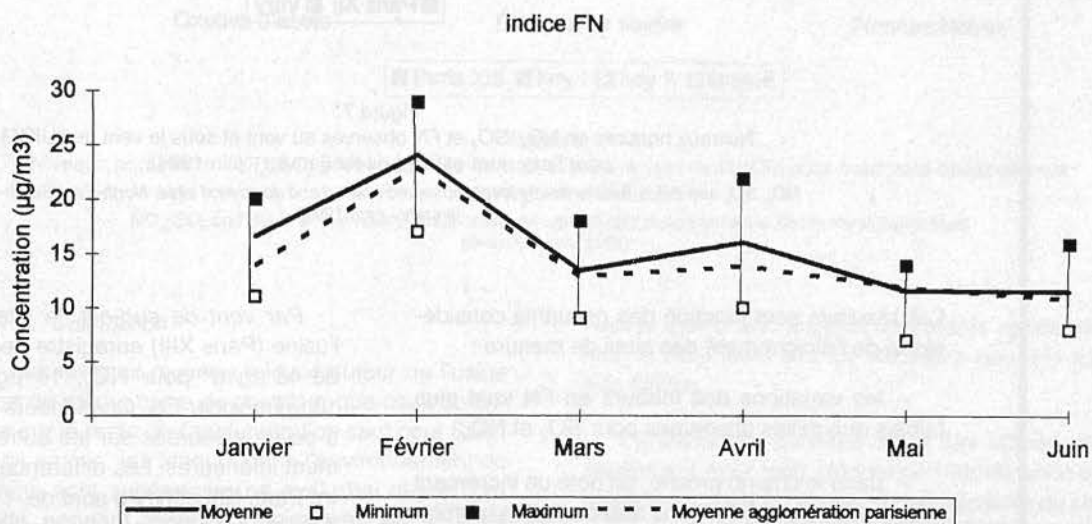
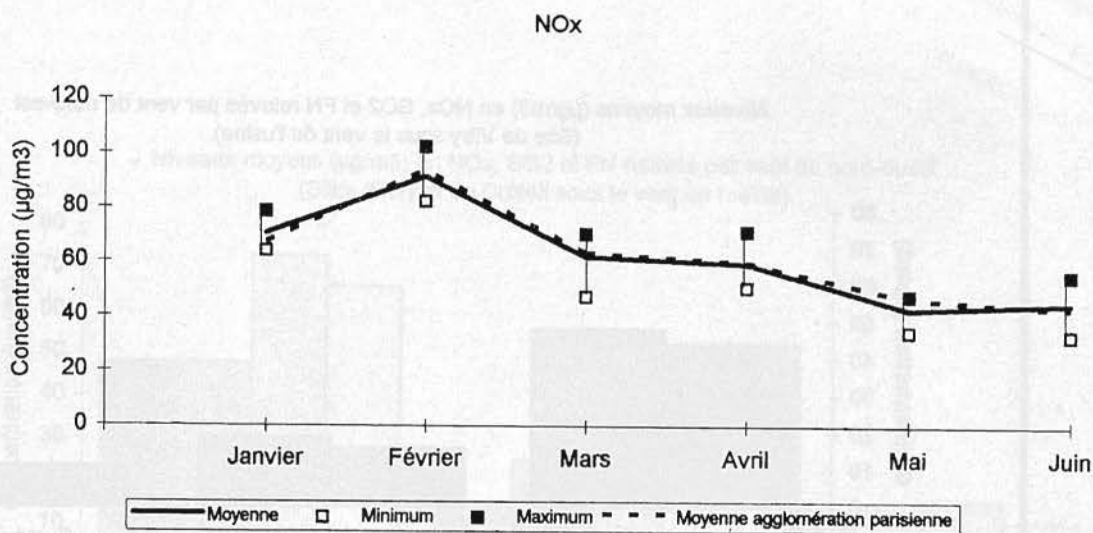
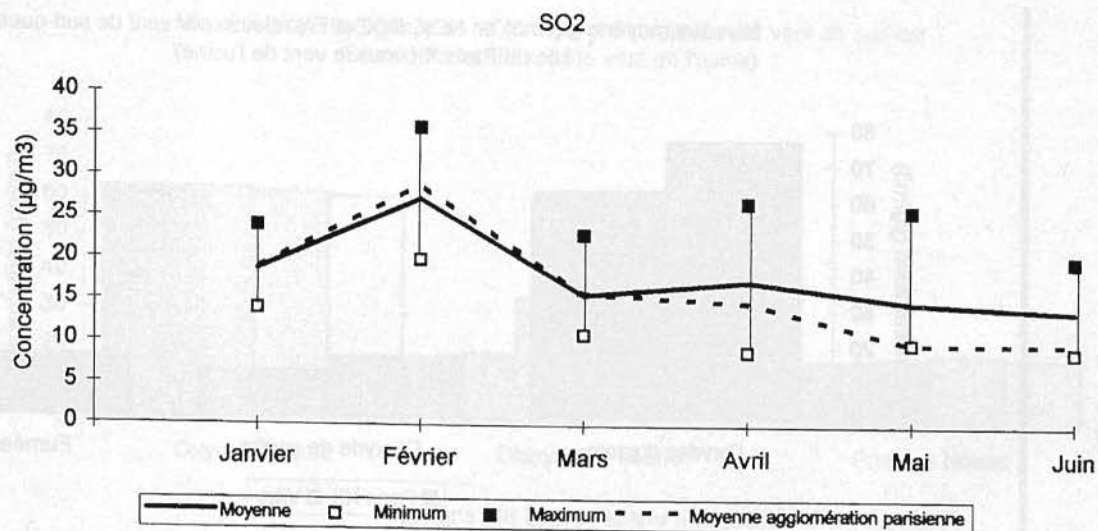
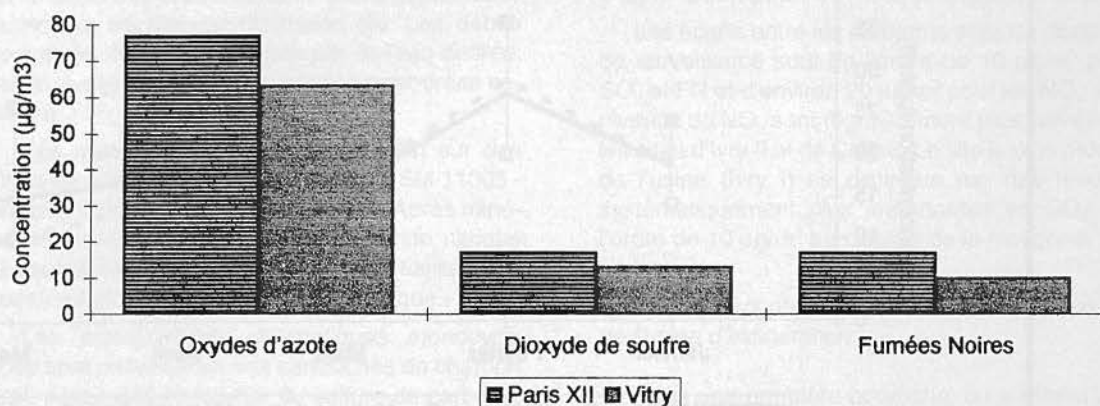


Figure 6.

Teneurs mensuelles en NO_x, SO₂ et indice FN pour l'ensemble du dispositif de surveillance comparées à celle observées en agglomération parisienne (janvier - juin 1994).

NO_x, SO₂ and Black Smoke monthly levels on the sites around the incinerator compared to Paris and suburb sites (january - june 1994).

Niveaux moyens ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en NO_x , SO_2 et FN relevés par vent de sud-ouest
(Site de Paris XII sous le vent de l'usine)



Niveaux moyens ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en NO_x , SO_2 et FN relevés par vent de nord-est
(Site de Vitry sous le vent de l'usine)

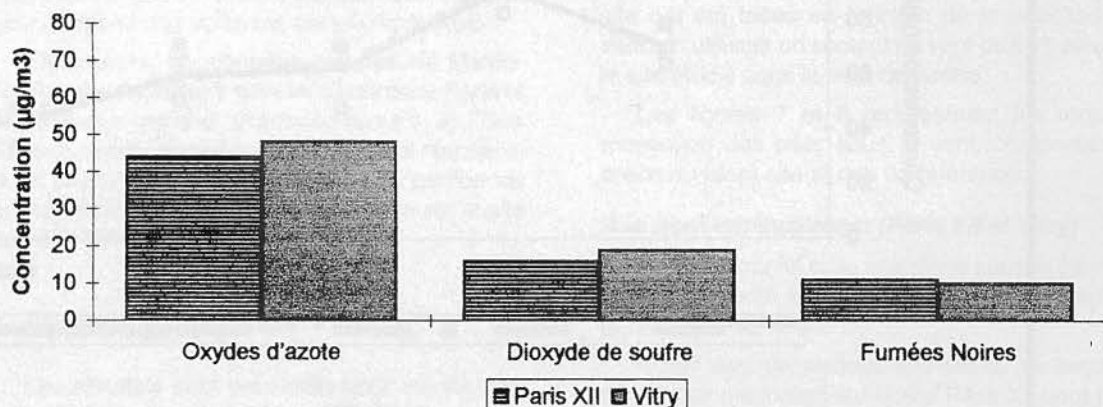


Figure 7.

Niveaux horaires en NO_x , SO_2 et FN observés au vent et sous le vent de l'UIOM pour l'axe nord-est/sud-ouest (janvier - juin 1994).

NO_x, SO₂ and Black Smoke hourly levels observed upwind and downwind sites. North-East/South-West january - june 1994.

Les résultats sont fonction des polluants considérés et de l'éloignement des sites de mesure :

- les variations des teneurs en FN sont plus faibles que celles observées pour SO_2 et NO_x ,
- dans le champ proche, on note un incrément uniquement pour SO_2 , sans augmentation corrélative pour NO_x et FN,
- les augmentations les plus importantes sont observées pour le site d'Ivry II à 2 km de l'usine ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO_x , $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour SO_2 et de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour FN).

Par vent de sud-est, le site sous le vent de l'usine (Paris XIII) enregistre des niveaux moyens de $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO_x , $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour SO_2 et $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour FN. Ces teneurs sont comparables à celles mesurées sur les autres sites ou légèrement inférieures. Les différences enregistrées entre Paris XIII et Ivry II sont de $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour NO_x , $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour SO_2 et $-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour FN.

Par ailleurs, on constate qu'à 750 m de l'usine, le site d'Ivry I présente un niveau moyen très fort en SO_2 (environ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plus que les autres sites) alors qu'a priori l'incidence des rejets de l'usine n'est pas suspectée.

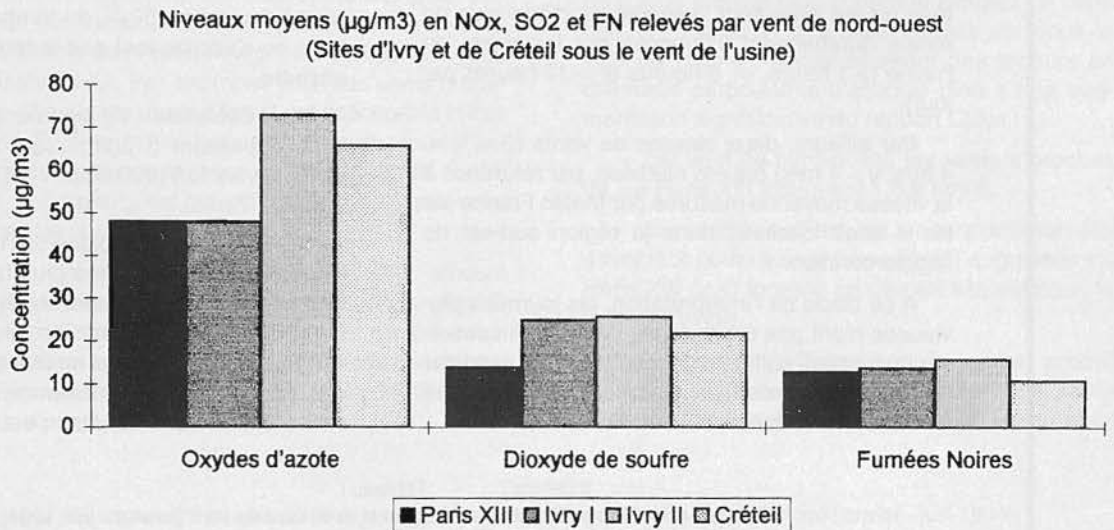
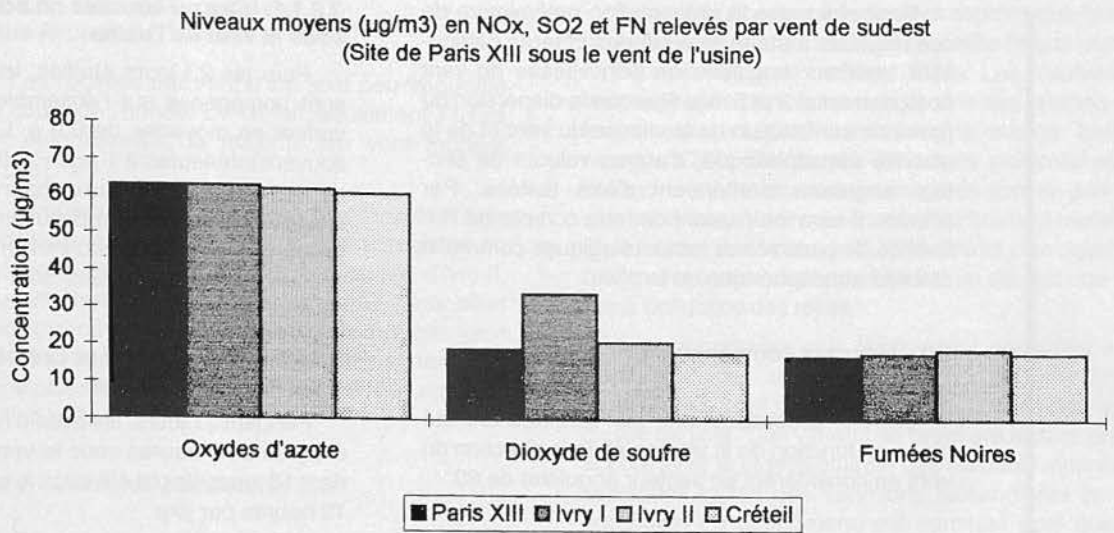


Figure 8.
Niveaux horaires en NO_x , SO_2 et FN observés au vent et sous le vent de l'UIOM pour l'axe nord-ouest/sud-est
(janvier - juin 1994).

*NO_x, SO₂ and Black Smoke hourly levels observed upwind and downwind sites. North-West/South-East
(january - june 1994).*

3.1.3. Discussion

Les niveaux moyens relevés autour de l'usine sont du même ordre de grandeur que ceux observés sur le reste de l'agglomération sauf pour SO_2 ; dans ce cas, les teneurs dans l'environnement de l'usine sont supérieures en avril, mai et juin, période pendant laquelle l'incidence des sources fixes dues au chauffage est plus faible.

Dans 3 des 4 directions de vent étudiées, le(s) site(s) sous le vent enregistrent des niveaux légèrement plus élevés que les sites en référence, ce qui permet de suspecter l'influence des rejets de

l'usine. Les écarts les plus importants concernent NO_x et SO_2 , alors que les variations pour FN sont très faibles.

L'analyse des données devra être affinée ultérieurement pour tenir compte de l'interférence potentielle d'autres sources et de la spécificité du site. La comparaison des teneurs sur deux sites de part et d'autre de l'usine ne rend pas nécessairement compte de l'impact des rejets. Des effets majorants ou minorants, selon la direction des vents sont à craindre en raison de l'influence de sources interférentes.

Rappelons que la présentation préliminaire de ces résultats a été établie sur des critères particuliers : secteur angulaire de 60°, vitesse du vent comprise entre 2 et 5 m/s. Puisque la dispersion du panache est fonction de la vitesse du vent et de la stabilité atmosphérique, d'autres valeurs de secteur angulaire mériteraient d'être testées. Par ailleurs, il sera intéressant de tenir compte de l'influence de paramètres météorologiques comme la stabilité atmosphérique ou la pluie.

3.2. Mesures complémentaires

Comme précédemment, les données ont été triées en fonction de la vitesse et de la direction du vent en considérant un secteur angulaire de 60°.

3.2.1. Acide chlorhydrique

Le tableau I présente les teneurs minimales, moyennes et maximales mesurées simultanément sur les trois sites étudiés. Trois classes sont définies ; elles correspondent à des situations contrastées où les sites sont susceptibles d'être plus ou moins durablement influencés par les rejets de l'usine (> 1 heure, ≥ 6 heures et ≥ 12 heures par jour).

Par ailleurs, deux classes de vents ($2 \leq v \leq 4$ m/s, $v > 4$ m/s) ont été étudiées, par référence à la vitesse moyenne mesurée par Météo France sur les 4 sites localisés dans la région sud-est de l'agglomération.

A ce stade de l'interprétation, les journées pluvieuses n'ont pas été exclues, de façon à conserver un nombre suffisant de résultats pour exprimer les premières tendances. Ce critère sera considéré à l'avenir étant donné la solubilité de HCl.

3.2.1.1. Cas où les sites ne sont pas sous le vent de l'usine

Pour les 23 jours étudiés, les teneurs en HCl sont homogènes sur l'ensemble des sites. Elles varient en moyenne de 0,9 à 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le plus souvent inférieures à 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, elles sont de l'ordre de grandeur des niveaux observés sur des sites éloignés de sources de pollution (4). Elles ne dépassent que très occasionnellement 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations maximales sont observées à Ivry (4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.2.1.2. Cas où Ivry II et Créteil sont sous le vent de l'usine

Pendant 21 jours, les sites d'Ivry II et Créteil ont été plus de 6 heures sous le vent de l'usine. Pendant 10 jours, ils ont été sous le panache au moins 12 heures par jour.

Les teneurs, qui n'excèdent pas 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Paris XIII, sont accrues sensiblement à Ivry II. Par vent moyen, et lorsque le site se trouve au moins 25 % du temps sous le panache, on note une augmentation moyenne de 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lorsque le site se trouve plus durablement sous le vent de l'usine (au moins 50 % du temps), les concentrations ne s'accroissent pas comme on pourrait s'y attendre.

Il est intéressant de signaler que les fortes valeurs dépassant 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont associées à des jours de vent fort (maximum : 12,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 26 janvier ; $v > 7$ m/s).

Sur le site le plus éloigné de l'usine (Créteil), les teneurs sont en moyenne plus faibles qu'à Ivry II, tout en étant régulièrement supérieures à celles de Paris XIII. Les valeurs les plus élevées (3 à 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont observées en mai et juin à des périodes où en principe l'incidence des rejets de la centrale thermique de Vitry n'est pas à craindre.

Tableau I
Teneurs en HCl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) selon la direction et la vitesse du vent (janvier - juin 1994).
HCl concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) according to wind conditions (january - june 1994).

| fréquence vent | vitesse vent (m/s) | Paris XIII | | Ivry II | | Créteil | |
|----------------------------|----------------------------|------------|-----------|---------|------------|---------|-----------|
| | | moyenne | étendue | moyenne | étendue | moyenne | étendue |
| Hors influence UIOM | | | | | | | |
| < 1 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 15) | 1,0 | 0,2 - 2,1 | 1,4 | 0,4 - 4,0 | 1,0 | 0,4 - 2,8 |
| | $v > 4$ (n = 8) | 1,0 | 0,3 - 3,3 | 0,9 | 0,6 - 1,4 | 1,2 | 0,5 - 3,8 |
| Vents de nord-ouest | | | | | | | |
| ≥ 6 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 10) | 1,2 | 0,7 - 1,6 | 2,9 | 0,7 - 4,8 | 1,8 | 0,7 - 4,1 |
| | $v > 4$ (n = 11) | 0,6 | 0,2 - 1,0 | 3,9 | 1,0 - 12,4 | 1,6 | 1,0 - 2,5 |
| ≥ 12 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 4) | 1,5 | 1,3 - 1,6 | 2,6 | 1,1 - 4,5 | 1,6 | 0,7 - 3,4 |
| | $v > 4$ (n = 6) | 0,7 | 0,3 - 1,0 | 4,9 | 1,0 - 12,4 | 1,5 | 1,0 - 2,3 |
| Vents de sud-est | | | | | | | |
| ≥ 6 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 9) | 2,4 | 0,7 - 5,7 | 1,0 | 0,4 - 1,9 | | |
| | $v > 4$ (n = 2) | 3,1 | 1,3 - 4,9 | 0,6 | 0,3 - 0,9 | | |

Hors influence UIOM : jours où les sites sont influencés par les rejets de l'UIOM moins d'une heure par jour.

Vents de nord-ouest : jours où Ivry II et Créteil sont susceptibles d'être influencés par les rejets de l'UIOM.

Vents de sud-est : jours où Paris XIII est susceptible d'être influencé par les rejets de l'UIOM.

Fréquence vent : nombre d'heures par jour où le (les) site(s) sous le vent de l'usine.

n : nombre de cas.

3.2.1.3. Cas où Paris XIII est sous le vent de l'usine

Les régimes par vent d'est sont peu fréquents au cours de l'année. De ce fait, seulement 11 cas ont été observés, la majorité par vent modéré (9 cas).

Le phénomène est l'inverse de celui décrit précédemment. Le site de Paris XIII enregistre en moyenne des teneurs supérieures au site d'Ivry II. Les différences observées entre les deux sites sont du même ordre de grandeur que par vent de nord-ouest. Les valeurs les plus fortes sont principalement au mois de février (maximum : 5,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.2.2. Chlorures particuliers

Les résultats sont présentés selon les mêmes critères que ceux explicités auparavant (tableau II). Ils traduisent des tendances similaires à celles décrites pour HCl.

De façon générale, les sites sous le vent de l'usine enregistrent des concentrations plus élevées que les sites au vent, les incréments de concentration étant néanmoins plus faibles que ceux relatifs à HCl. Par exemple, pour des vents modérés (2 à 4 m/s), quand Ivry II est susceptible d'être sous le panache de l'usine (≥ 6 heures/jour), l'accroissement des teneurs en chlorures, de l'ordre de 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, est un peu plus faible que celui observé pour HCl (1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

A Créteil, une augmentation des teneurs moyennes n'est pas observée de façon systématique par rapport à Paris XIII. Elle n'est a priori détectable que par vent fort ; dans ces conditions, elle occasionne des accroissements de niveaux à peine perceptibles (0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La contribution possible d'autres sources que l'incinération des ordures ménagères justifie l'étude des teneurs des rapports molaires Cl/Na. Les résultats sont regroupés dans le tableau III. Une des principales sources potentielles est d'origine marine. Les rapports Cl/Na relatifs aux émissions particulières des incinérateurs d'ordures ménagères sont en principe supérieurs à ceux qui concernent l'aérosol marin (2). L'impact des rejets de l'UIOM devrait provoquer l'augmentation de ce rapport quand un site est soumis à l'influence des rejets.

Les rapports les plus faibles sont constatés à Paris XIII, par des vents de nord-ouest. En moyenne, ils sont compris entre 0,9 et 1,2 selon la classe de vent. Ces valeurs en première lecture en accord avec la stoechiométrie des aérosols marins subissent en fait des variations saisonnières importantes. Le phénomène est constaté quel que soit le site étudié. En effet, les rapports compris généralement entre 1 et 1,5 en janvier et février décroissent sensiblement aux mois de mai et juin à des niveaux fréquemment compris entre 0,5 et 1.

La comparaison entre les sites les plus proches de l'usine semble bien confirmer l'impact de cette dernière lorsqu'un des sites étudiés est sous le vent de l'usine ; l'accroissement des teneurs en chlorures particuliers s'associe bien à une augmentation significative du rapport Cl/Na :

- par vent de nord-ouest, les valeurs proches de 1 à Paris XIII atteignent 1,8 à Ivry II,
- par vent de sud-est, les teneurs déjà élevées à Ivry (1,8 pour des vents modérés) augmentent à Paris XIII (2,4) lorsque ce dernier site est sous le vent de l'usine.

Les données à Créteil sont moins en accord avec les résultats attendus. Par vent de nord-ouest, le rapport moyen est plus proche de celui

Tableau II
Teneurs en chlorures particuliers ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) selon la direction et la vitesse du vent (janvier - juin 1994).
Chloride concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) according to wind conditions (january - june 1994).

| fréquence vent | vitesse vent (m/s) | Paris XIII | | Ivry II | | Créteil | |
|----------------------------|----------------------------|------------|------------|---------|------------|---------|-----------|
| | | moyenne | étendue | moyenne | étendue | moyenne | étendue |
| Hors influence UIOM | | | | | | | |
| < 1 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 15) | 1,9 | 0,2 - 3,8 | 2,0 | 0,2 - 6,0 | 2,1 | 0,5 - 4,4 |
| | $v > 4$ (n = 8) | 2,2 | 0,2 - 5,6 | 2,7 | 0,5 - 4,8 | 2,6 | 0,4 - 6,3 |
| Vents de nord-ouest | | | | | | | |
| ≥ 6 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 10) | 2,0 | 0,3 - 4,9 | 3,2 | 0,7 - 5,4 | 2,0 | 0,6 - 4,1 |
| | $v > 4$ (n = 11) | 3,5 | 1,4 - 12,1 | 4,6 | 1,6 - 13,9 | 3,8 | 1,5 - 8,6 |
| ≥ 12 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 4) | 3,5 | 0,3 - 4,9 | 6,4 | 4,4 - 5,3 | 1,9 | 0,6 - 3,9 |
| | $v > 4$ (n = 6) | 4,5 | 1,5 - 12,1 | 6,1 | 3,1 - 13,9 | 4,7 | 2,4 - 8,7 |
| Vents de sud-est | | | | | | | |
| ≥ 6 h | $2 \leq v \leq 4$ (n = 9) | 2,4 | 0,4 - 5,8 | 1,5 | 0,9 - 3,3 | | |
| | $v > 4$ (n = 2) | 3,6 | 1,4 - 5,7 | 1,3 | 0,5 - 2,1 | | |

Hors influence UIOM : jours où les sites sont influencés par les rejets de l'UIOM moins d'une heure par jour.

Vents de nord-ouest : jours où Ivry II et Créteil sont susceptibles d'être influencés par les rejets de l'UIOM.

Vents de sud-est : jours où Paris XIII est susceptible d'être influencé par les rejets de l'UIOM.

Fréquence vent : nombre d'heures par jour où le (les) site(s) sous le vent de l'usine.

n : nombre de cas.

Tableau III
Rapport des teneurs molaires Cl/Na selon la direction et la vitesse du vent (janvier - juin 1994).
Molar ratio Cl/Na according to wind conditions (january - june 1994).

| fréquence vent | vitesse vent (m/s) | Paris XIII | | Ivry II | | Créteil | |
|----------------------------|--------------------|------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| | | moyenne | étendue | moyenne | étendue | moyenne | étendue |
| Hors influence UIOM | | | | | | | |
| < 1 h | 2 ≤ v ≤ 4 (n = 15) | 2,1 | 0,3 - 5,6 | 3,0 | 0,2 - 9,4 | 2,6 | 0,6 - 6,0 |
| | v > 4 (n = 8) | 1,3 | 0,3 - 2,5 | 1,5 | 0,6 - 2,6 | 1,7 | 0,6 - 3,9 |
| Vents de nord-ouest | | | | | | | |
| ≥ 6 h | 2 ≤ v ≤ 4 (n = 10) | 0,9 | 0,2 - 2,0 | 1,8 | 0,2 - 3,1 | 1,8 | 0,5 - 3,5 |
| | v > 4 (n = 11) | 1,2 | 0,8 - 3,2 | 1,8 | 1,1 - 3,0 | 2,0 | 0,9 - 5,4 |
| ≥ 12 h | 2 ≤ v ≤ 4 (n = 4) | 1,0 | 0,2 - 1,8 | 1,8 | 0,2 - 2,7 | 1,1 | 0,5 - 1,8 |
| | v > 4 (n = 6) | 1,0 | 0,8 - 1,4 | 1,8 | 1,4 - 2,4 | 1,4 | 0,9 - 1,6 |
| Vents de sud-est | | | | | | | |
| ≥ 6 h | 2 ≤ v ≤ 4 (n = 9) | 2,4 | 0,4 - 6,7 | 1,8 | 0,4 - 5,2 | | |
| | v > 4 (n = 2) | 3,5 | 2,6 - 4,4 | 1,5 | 1,5 - 1,6 | | |

Hors influence UIOM : jours où les sites sont influencés par les rejets de l'UIOM moins d'une heure par jour.

Vents de nord-ouest : jours où Ivry II et Créteil sont susceptibles d'être influencés par les rejets de l'UIOM.

Vents de sud-est : jours où Paris XIII est susceptible d'être influencé par les rejets de l'UIOM.

Fréquence vent : nombre d'heures par jour où le (les) site(s) sous le vent de l'usine.

n : nombre de cas.

d'Ivry que celui de Paris XIII alors que les concentrations en chlorures sont quasiment équivalentes à celles mesurées sur le site de référence.

3.2.3. Les métaux

Le tableau IV regroupe les teneurs minimales, maximales, moyennes et médianes mesurées à Ivry II. Deux classes sont considérées ; elles se différencient par le fait que le site d'Ivry est susceptible ou non d'être durablement sous le panache de l'usine. Les critères de temps retenus sont respectivement < 1 heure (n = 26) et > 6 heures (n = 16). Seuls les cas où la vitesse du vent est supérieure à 2 m/s sont sélectionnés.

Parmi les éléments analysés, le zinc, le cadmium et le chrome présentent en moyenne des teneurs un peu plus élevées par vent de nord-ouest quand l'incidence du panache de l'usine est prévisible. Les différences sont néanmoins mineures puisque les concentrations en zinc sont accrues de 108 à 118 ng/m³, celles en cadmium de 2,4 à 3,3 ng/m³. Les teneurs deux fois plus élevées en chrome (10 ng/m³) s'expliquent par quelques valeurs de pointe (maximum : 47 ng/m³).

A contrario, les concentrations de plomb, cuivre, manganèse et nickel sont un peu plus élevées quand le site est au vent de l'usine. Les écarts, de 10 à 30 % plus faibles en moyenne, sont du même

Tableau IV
Teneurs en métaux pour le site Ivry II (du 08/02 au 30/06/1994) (vitesse vent > 2 m/s)
Metals concentrations for Ivry II site (08/02 - 30/06/1994) (wind speed > 2 m/s)

| | | Hors influence panache (t < 1 h) n = 26 | | | | Influence durable du panache (t > 6 h) n = 16 | | | |
|---------------------|-------------------|--|-----|-------|-----|--|-----|-------|------|
| | | moy | med | min | max | moy | med | min | max |
| zinc | ng/m ³ | 108 | 65 | 13 | 682 | 118 | 70 | 29 | 333 |
| plomb | ng/m ³ | 69 | 50 | 19 | 213 | 56 | 43 | 11 | 128 |
| cuivre | ng/m ³ | 14 | 11 | 4,4 | 49 | 12 | 9,4 | 5,1 | 23 |
| manganèse | ng/m ³ | 6,4 | 5,7 | 0,9 | 20 | 4,8 | 4,2 | 1,9 | 9,3 |
| nickel | ng/m ³ | 9 | 6,7 | < 3 | 51 | 8 | 6,9 | < 3 | 18 |
| cadmium | ng/m ³ | 2,4 | 1,2 | < 0,6 | 9,6 | 3,3 | 1,0 | < 0,6 | 16 |
| chrome | ng/m ³ | 5 | 3,4 | < 2 | 36 | 10 | 4,7 | < 2 | 47 |
| mercure | ng/m ³ | 1,9 | < 1 | < 1 | 8,9 | 1,5 | < 1 | < 1 | 4,4 |
| arsenic | ng/m ³ | < 5 | < 5 | < 5 | 14 | < 5 | < 5 | < 5 | 5,7 |
| FN | μg/m ³ | 20 | 19 | 8 | 44 | 16 | 13 | 5 | 46 |
| NO _x (*) | μg/m ³ | 76 | 75 | 40 | 175 | 69 | 56 | 26 | 210 |
| SO ₂ | μg/m ³ | 24 | 19 | 8 | 78 | 22 | 16 | 6 | 70 |
| benzène | μg/m ³ | 5,0 | 4,4 | 1,5 | 9,8 | 4,6 | 3,7 | 1,3 | 11,8 |
| zinc/benzène | ng/μg | 24 | 14 | 4,3 | 111 | 37 | 15 | 5,4 | 182 |
| plomb/benzène | ng/μg | 16 | 11 | 4,4 | 115 | 20 | 11 | 4,7 | 93 |
| cuivre/benzène | ng/μg | 3,0 | 2,6 | 1,1 | 11 | 4,0 | 2,5 | 1,2 | 16 |

(*) Exprimé en équivalent NO.

t (h) : nombre d'heures par jour où le site est sous le panache de l'UIOM selon les données météorologiques acquises à Paris XIII.

n : nombre de cas - moy : moyenne - med : médiane - min : minimum - max : maximum

ordre d'idée que ceux relatifs aux indicateurs traditionnels de qualité de l'air du milieu urbain (ex : FN, NO_x, HAM). Ces résultats sont sans doute la conséquence de conditions dispersives en général plus favorables par vent d'ouest.

Le mercure et l'arsenic sont rarement détectés, compte tenu des seuils analytiques (respectivement 1 et 5 ng/m³). Pour ces éléments, à l'issue des premiers mois de mesure, il est difficile de faire ressortir l'impact des rejets de l'UIOM. Ce sont plutôt les journées où l'incidence du panache est réduite (< 1 heure/jour) qui présentent des fréquences de dépassement supérieures. Ceci est vrai en particulier pour l'arsenic (9 dépassements).

Pour mieux mettre en exergue l'impact éventuel des rejets de l'usine d'incinération, il est utile de prendre en compte la contribution potentielle des autres sources, en particulier la circulation automobile. Ainsi, les concentrations de plomb, de cuivre et de zinc sont rapportées à celles du benzène, composé dont les teneurs dans l'environnement sont supposées être exclusivement conditionnées par le trafic routier. Par ailleurs, cette démarche permet de s'affranchir des conditions de dispersion atmosphériques différentes d'un jour à l'autre.

Les résultats montrent qu'en moyenne, les rapports augmentent légèrement quand le site est durablement sous le panache de l'usine. La tendance apparaît plus nettement pour le zinc ; en raison de quelques rapports élevés obtenus par vents de nord-ouest, la valeur moyenne évolue de 24 à 37, les jours où l'impact des rejets est probable.

Pour le cuivre, l'augmentation des rapports est moins nette car une seule valeur élevée est obtenue par vent d'ouest. Pour le plomb, les différences sont mineures. Les rapports varient en moyenne de 16 à 20, dans une plage comparable quelle que soit la direction des vents. Les valeurs médianes sont du même ordre de grandeur que celles relatives à des mesures récentes effectuées à proximité immédiate de la circulation automobile. Sur ce point donc, il apparaît que le trafic en dépit de l'évolution des carburants et de l'apparition progressive des pots catalytiques est encore la source dominante.

En définitive si des présomptions peuvent être formulées quant à la contribution de l'UIOM à la contamination en zinc et en cadmium, on notera néanmoins qu'à ce stade des mesures, il n'y a pas de relation étroite entre les teneurs de pointe observées pour les éléments métalliques marqueurs de l'incinération (ex : cadmium et zinc) et celles en HCl.

4. Perspectives et conclusions

En résumé, à l'issue des 6 premiers mois de mesures, l'analyse préliminaire des données relatives aux six sites du dispositif de surveillance de l'UIOM d'Ivry-sur-Seine permet de dégager plusieurs tendances :

- les niveaux moyens en NO_x et FN mesurés autour de l'usine sont du même ordre de grandeur que ceux observés sur l'ensemble de l'agglomération parisienne. Par contre les teneurs en SO₂ sont

en moyenne un peu plus fortes à partir du mois de mai, quand l'incidence des sources fixes liées au chauffage devient négligeable,

- en comparant pour un secteur de vent donné, un site sous le vent de l'usine et un site au vent, il apparaît que pour les paramètres mesurés en continu, les sites sous le vent présentent presque toujours un niveau moyen supérieur au site de référence pour NO_x et SO₂. Cette différence est comprise entre 1 et 25 µg/m³ pour SO₂. Les écarts sont très faibles pour FN, mais une question se pose quant à la spécificité de cet indicateur comme traceur des rejets des usines d'incinération,

- en ce qui concerne HCl, les sites sous le vent présentent également des niveaux supérieurs au site de référence. Les teneurs 24 h s'élèvent régulièrement au niveau de 3 à 4 µg/m³ quand le site de mesure est durablement sous le panache au cours de la journée,

- pour les métaux, le nombre de données encore insuffisant limite l'interprétation des résultats. Néanmoins, il semble que la contribution des rejets des UIOM à la contamination en métaux émerge peu à peu de celles des autres sources ponctuelles ou diffuses. L'incidence est surtout suspectée pour le cadmium et le zinc dont les teneurs sont quelquefois plus élevées quand le site de mesure est sous le panache de l'usine.

A l'avenir, l'accumulation des mesures prévues sur 15 mois devrait permettre d'appréhender de façon plus précise l'impact des rejets de l'UIOM avant la mise en conformité. Il s'agira en particulier de mieux différencier les situations météorologiques (vitesse du vent, stabilité verticale de l'atmosphère, précipitation, ...) et de prendre en compte la contribution potentielle de sources ponctuelles ou diffuses pouvant interférer.

Bibliographie

- [1] Paris Région Administration Service Sociétés. Annuaire 1994. Décembre 1994.
- [2] THYMEN G., FOLL A., HENAF P., LAIZNE J.-P. Impact sur l'environnement d'une usine de traitement des résidus urbains : cas de l'UIOM de Brest. Pollution atmosphérique, 1990, avril-juin, N° 126, 153-166.
- [3] FONTELLE J.-P., AUDOUX N. et MOISSON F. 1992. Inventaire des émissions dans l'atmosphère d'Ile de France, 1990. Rapport CITEPA 136/novembre 1992.
- [4] Origine des particules en suspension dans l'atmosphère de l'agglomération parisienne. Contribution des sources. Etude bibliographique et inventaire des sources de l'agglomération parisienne (Rapport effectué par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris pour le compte de la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ile de France, février 1992).
- [5] OMS. Air quality guidelines for Europe. Rapport n° 23, 426 p., 1987, Copenhague.
- [6] HARRISON R.M. and ALLEN G. Measurements of HNO₃, HCl and associated species on a small network in Eastern England. Atmospheric Environment, 1990, vol. 24A, N° 2, 369-376.