

“L'air est **essentiel** à chacun
et mérite l'**attention de tous**.”

Surveillance de la qualité de l'air

MESURE DES METAUX LOURDS A RENNES

Campagne de mesure :

18 août - 13 octobre 2005

12 janvier - 9 mars 2006



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE

Etude réalisée par Air Breizh avec la participation et le soutien de Rennes Métropole

Remerciements

Air Breizh remercie :

- Rennes Métropole et tout particulièrement Mme Combot et M. Gicquel du service environnement pour leur participation.
- La ville de Rennes, notamment le Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS), pour son soutien technique.
- Le centre culturel du Triangle, pour nous avoir accueillis sur leur site.

Diffusion

Air Breizh, de par son statut défini par le Ministère de l'écologie et du développement durable, a pour obligation de communiquer les résultats d'analyse au public. Toutes ses études sont disponibles sur son site www.airbreizh.asso.fr

Contributions

Pôle Etudes	Pôle Technique	Validation
Bénédicte GUIRIEC Cyril BESSEYRE	Joël GRALL Yves GUILLOCHON Vincent ESNULT Jean-Michel CIESLAK	Magali CORRON

Avertissement

Ce rapport d'étude est la propriété d'Air Breizh. Il ne peut être reproduit, tout ou partie, sans l'autorisation écrite d'Air Breizh. Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh.

Air Breizh ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

I. PRESENTATION D'AIR BREIZH	4
I.1 STRUCTURE ET MISSIONS	4
I.2 MEMBRES	4
I.3 MOYENS	5
II. PRESENTATION DES POLLUANTS ETUDIES	6
II.1 ARSENIC	6
II.2 CADMIUM	7
II.3 NICKEL	9
II.4 PLOMB	10
II.5 NIVEAUX RENCONTRES EN MILIEU URBAINS	11
III. STRATEGIE DE CAMPAGNE	12
III.1 SITE DE MESURE	12
III.2 PROTOCOLE	13
III.3 DATE DE CAMPAGNE	13
IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	14
IV.1 LIMITES DE L'ETUDE	14
IV.2 CONDITIONS METEOROLOGIQUES	14
IV.3 ANALYSE DES BLANCS	15
IV.4 NIVEAUX DE PM10 DANS L'AIR AMBIANT	16
IV.5 TENEURS EN METAUX LOURDS	17
V. SYNTHESE	23
GLOSSAIRE	24
BIBLIOGRAPHIE	25

Introduction

La surveillance de la qualité de l'air breton a débuté à Rennes en 1986. L'ASQAR, l'association alors chargée de cette surveillance, s'est régionalisée en décembre 1996, devenant AIR BREIZH. Depuis plus de 20 ans, le réseau de surveillance s'est régulièrement développé, et dispose aujourd'hui de stations de mesures dans une dizaine de villes bretonnes.

La Directive « cadre » 96/62/CE du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant définit une gamme de polluants pour lesquels des mesurages doivent être mis en œuvre.

Quatre directives filles précisent les modalités d'application de ces mesures. La première (99/30/CE) et la quatrième directive filles (2004/107/CE) fixent respectivement la valeur limite à ne pas dépasser pour le plomb, et les valeurs cibles pour l'arsenic, le cadmium, et le nickel. Ces valeurs réglementaires sont applicables aux métaux lourds présents sur les particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM₁₀). La première directive a été transcrite en droit français par le décret 2002-213 du 5 février 2002.

Ce rapport présente les résultats des campagnes de mesure des métaux lourds qui ont été menées à Rennes, en partenariat avec Rennes Métropole, du 18 août au 13 octobre 2005 et du 12 janvier au 9 mars 2006. Des prélèvements hebdomadaires de PM₁₀ sur filtre en quartz ont été réalisés avec un Partisol spéciation (préleveur moyen débit), au niveau de la station urbaine du Triangle.



Fig.1 : Villes disposant au moins d'une station de mesure de la qualité de l'air

I. PRESENTATION D'AIR BREIZH

I.1 Structure et Missions

Air Breizh est l'organisme de surveillance, d'étude et d'information sur la qualité de l'air en Bretagne. Agréé par le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable, il est membre de la Fédération Atmo qui regroupe 36 associations en France et dans les DOM-TOM.



Fig.2 : Cartes des AASQA

La surveillance de la qualité de l'air breton a débuté à Rennes en 1986. L'ASQAR, l'association alors chargée de cette surveillance, s'est régionalisée en décembre 1996, devenant Air Breizh. Depuis plus de vingt ans, le réseau de surveillance s'est régulièrement développé, et dispose aujourd'hui de 19 stations de mesure réparties sur une dizaine de villes bretonnes.

Les missions d'Air Breizh consistent à :

- **Mesurer** en continu les polluants urbains nocifs (SO₂, NO_x, CO, O₃, Poussières et Benzène) dans l'air ambiant,
- **Inform**er les services de l'Etat, les élus, les industriels et le public, notamment en cas de pic de pollution,
- **Etudier** l'évolution de la qualité de l'air au fil des années et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.

I.2 Membres

Conformément à la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie, Air Breizh se structure autour de 4 collèges :

- Collège 1 : Etat,
- Collège 2 : Collectivités territoriales,
- Collège 3 : Emetteurs de substance polluantes,
- Collège 4 : Associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées

Ces 4 collèges sont équitablement représentés au sein du Conseil d'Administration et du Bureau.

<i>Président</i>	M. Venien	Conseil Général d'Ille et Vilaine
<i>Vice-présidents</i>	M. Sawicki	Brest Métropole Océane
	M. Froger	Société des Polymères Barre Thomas
<i>Trésorier</i>	M. Pouessel	Peugeot Citroën Rennes
<i>Secrétaire Général</i>	M. Peaucelle	DRIRE Bretagne
<i>Conseiller technique</i>	M. Petitjean	ADEME
<i>Personnes qualifiées</i>	M. Laplanche	ENSCR
	M. Martin	Météo France

Fig.3 : Composition du bureau d'Air Breizh

I.3 Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte 10 salariés (dont 1 CDD en charge notamment de l'élaboration du cadastre des émissions et 1 élève apprenti ingénieur).

Le budget annuel s'élève à environ 1 million d'euros, financé à hauteur de 37% par l'Etat (via des subventions directes ou la réaffectation de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes, payée par les industriels en fonction de la quantité de leurs rejets dans l'atmosphère), 28% par les collectivités locales, 22% par les industriels, et 13% via des prestations et produits financiers.

II. PRESENTATION DES POLLUANTS ETUDIES

Les éléments traces, appelés abusivement métaux lourds, comprennent non seulement les métaux présents à l'état de trace (cadmium, cuivre, mercure, plomb, etc.), mais aussi des éléments non-métalliques, comme l'arsenic, le fluor...

La plupart d'entre eux, les oligo-éléments, sont nécessaires à la vie en faible dose. Ils peuvent cependant se révéler très nocifs en quantités trop importantes. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo),

du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti).

D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas, comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) [1].

Quatre de ces métaux lourds sont concernés par la réglementation en raison de leur toxicité : le plomb, l'arsenic, le cadmium et le nickel. Ces composés se retrouvent principalement sous forme particulaire dans l'atmosphère.

II.1 Arsenic

Origines

L'arsenic est un élément naturellement présent dans la partie superficielle de l'écorce terrestre à une concentration moyenne de l'ordre de 2 mg/kg. Différents phénomènes naturels peuvent entraîner une redistribution de l'arsenic vers l'atmosphère (érosion des roches, réactions d'oxydo-réduction, activité volcanique, feux de forêt) [2]. Les sources naturelles d'arsenic représenteraient à l'échelle mondiale 8 000 t/an [3].

La majeure partie de l'arsenic atmosphérique provient des activités humaines. Les sources anthropiques seraient responsables de l'émission de près de 28 790 t/an à l'échelle mondiale [3]. Les émissions de ce polluant proviennent de la présence de ce composé dans certaines

matières premières et dans certains combustibles (charbon, fioul,...).

● En France

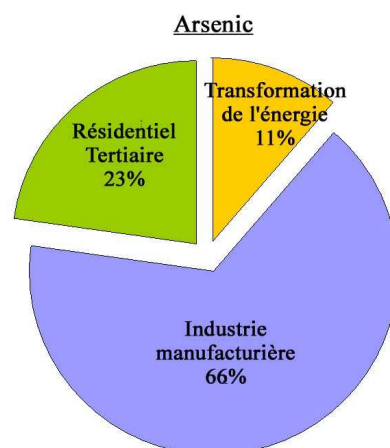


Fig.4 : Répartition des émissions en Arsenic dans l'air en France Métropolitaine en 2004, source CITEPA

En France Métropolitaine, en 2004, l'industrie manufacturière serait responsable de 66% des émissions d'arsenic liées notamment à la fabrication du verre (31%) et à la métallurgie (22%).

Les secteurs résidentiels et tertiaires et celui de la transformation de l'énergie représenteraient respectivement 23% et 11% des émissions [4]. Les autres secteurs comme l'agriculture et les transports ont une contribution très faible, voire nulle.

- En Bretagne

Avec 242 tonnes émises en 2000, la Bretagne représentait 1,7% des émissions nationales. Le secteur résidentiel/tertiaire est le premier émetteur (plus de 60% des émissions régionales), alors que l'industrie manufacturière ne représente que 28% des émissions [5]

L'arsenic dans l'air ambiant est majoritairement présent sous forme de particules (entre 89-98,6%) [3].

Impacts sur la santé [2]

Chez l'homme, l'absorption de l'arsenic est estimée à 95 % par voie orale et à 30 à 34

% par inhalation. La voie cutanée est une voie mineure d'absorption.

La grande majorité des effets liés à l'arsenic sont induits par les dérivés inorganiques (oxydes d'arsenic et arsénates).

Plusieurs études réalisées chez des salariés, exposés par inhalation à l'arsenic (et/ou à ces dérivés), ont mis en évidence l'apparition de lésions cutanées et des troubles digestifs, le développement de cancer des voies respiratoires, ainsi qu'une augmentation du risque de mortalité par accident cardiovasculaire.

L'union européenne a classé certains dérivés de l'arsenic comme « substances que l'on sait être cancérogènes pour l'homme ».

Réglementation

La **directive 2004/107/CE** du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques dans l'air ambiant fixe comme valeur cible : 6 ng/m³ (moyenne annuelle). Cette valeur s'applique à l'arsenic total contenu sur les particules fines (PM10).

II.2 Cadmium

Origines

Le cadmium rejeté dans l'atmosphère provient de sources naturelles (800 t/an) ou anthropiques (7 300 t/an) [3]. Le cadmium présent dans la croûte terrestre peut être dispersé dans l'air par entraînement de particules provenant du sol et par les éruptions volcaniques. Cependant, les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les

incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique [6].

- En France

En 2004, les émissions françaises de cadmium s'élevaient à 7,6 tonnes. L'industrie manufacturière comptabilisait 72% des émissions avec notamment la

métallurgie (57%), le secteur de la construction (10%). Concernant le secteur de la transformation de l'énergie (21%), les émissions proviennent majoritairement des usines d'incinérations des ordures ménagères avec récupération d'énergie.

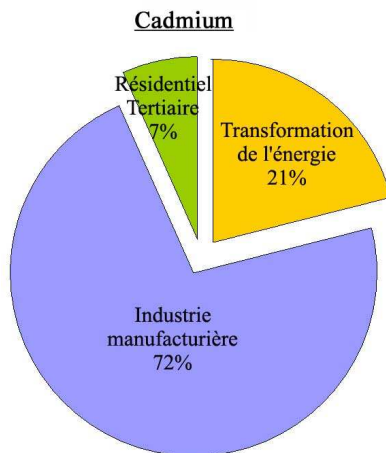


Fig.5 : Répartition des émissions en Cadmium dans l'air en France Métropolitaine, en 2004, source CITEPA

● En Bretagne

D'après le CITEPA, les émissions bretonnes de cadmium représentaient en 2000 près d'1,9% (196 tonnes) des rejets français. Le secteur de la transformation de l'énergie est le premier contributeur aux émissions régionales (65%) ; suivent ensuite l'industrie manufacturière (23%), le secteur résidentiel et tertiaire (12%).

Le cadmium dans l'air ambiant est principalement présent sous forme particulaire. Les particules urbaines contiennent majoritairement des oxydes de cadmium produits par la réaction des vapeurs de cadmium avec l'air. [3]

Impacts sur la santé [6]

Les deux principales voies d'absorption sont l'inhalation et l'ingestion. Par voie pulmonaire, une fraction du cadmium se dépose le long du tractus respiratoire en fonction de la taille des particules et selon l'hydrosolubilité des composés (les sels les plus solubles : chlorures et oxydes sont absorbés à environ 90-100 % et les sulfures à hauteur de 10 %). Cette absorption peut se poursuivre pendant plusieurs semaines, même après une inhalation unique. Par voie digestive, l'absorption est d'environ 5%.

Le cadmium se concentre principalement dans le foie et les reins (entre 50 % et 70 % de la charge totale). L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale.

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le cadmium parmi le groupe 1 : « l'agent (ou le mélange) est cancérogène pour l'homme » (1993). En effet, différentes études réalisées en milieu professionnel, et correspondant à des expositions par inhalation, ont montré une augmentation significative de la mortalité par cancer pulmonaire.

Réglementation

La **directive 2004/107/CE** du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques dans l'air ambiant fixe comme valeur cible : **5 ng/m³** (moyenne annuelle). Cette valeur s'applique au cadmium total contenu sur les particules fines (PM10).

II.3 Nickel

Origines

Le nickel représente 0,8 à 0,9 % de la croûte terrestre. A l'échelle mondiale, la source naturelle prépondérante est l'érosion éolienne des sols (77 % des émissions naturelles).

- En France

Deux secteurs prédominent dans les émissions de nickel : la transformation de l'énergie (raffinage du pétrole et la production électrique), et l'industrie manufacturière (métallurgie, agro-alimentaire, minéraux non métalliques, matériaux de construction et la chimie) avec respectivement 56% et 38% des émissions totales en 2004.

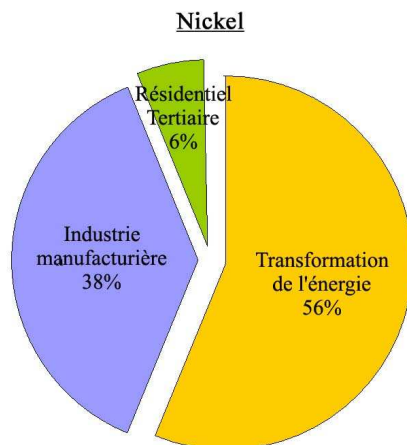


Fig.6 : Répartition des émissions en Nickel dans l'air en France Métropolitaine en 2004, source CITEPA

- En Bretagne

Les activités de transformation de l'énergie ne représenteraient que 13% des émissions (3^{ème} rang des émetteurs régionaux). Les secteurs de l'industrie manufacturière et résidentiel/tertiaire représentent respectivement 62 % et 25 %.

Le nickel et ses dérivés sont présents sous forme particulière dans l'atmosphère, excepté le nickel tétracarbonyle qu'on

trouve exclusivement en phase vapeur (substance instable).

Impact sur la santé [7]

Le nickel et ses composés sont absorbés par les voies respiratoires et dans une moindre mesure par le tube digestif. Environ 20 à 35 % du nickel inhalé sont absorbés dans le sang à partir des voies respiratoires, le reste étant éliminé. L'absorption du nickel existe également par voie cutanée. Cette voie est peu significative quantitativement mais importante cliniquement car le contact d'un objet contenant du nickel est susceptible d'engendrer des dermatites de contact (allergies).

Les études chez l'homme en milieu professionnel indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation induisant une augmentation de certaines pathologies (bronchite chronique, diminution de la capacité vitale,...).

Le CIRC a classé le nickel et ses composés dans le groupe 1 (cancérigène pour l'homme). Les différentes études épidémiologiques portant sur les effets cancérogènes du nickel ont été basées sur des études de cohorte de travailleurs de raffineries et ont mis en évidence une augmentation du risque de cancer du poumon et du nez.

Réglementation

La **directive 2004/107/CE** du Conseil du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques dans l'air ambiant fixe comme valeur cible : **20 ng/m³** (moyenne annuelle). Cette valeur s'applique au nickel total contenu sur les particules fines (PM10).

II.4 Plomb

Origines

Le plomb est présent dans la croûte terrestre et dans tous les compartiments de la biosphère.

● En France

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques, ils proviennent d'abord de la métallurgie des métaux (39 % des émissions en 2004 en France), de la production de matériaux et de l'utilisation de minéraux non métalliques (24%), du secteur résidentiel/tertiaire (16%), du transport aérien (9%) et des activités de transformation de l'énergie (8%).

Les émissions de plomb ont fortement diminué (- 96% entre 1990 à 2004) passant de 4 301 t à 174 t, en raison de l'interdiction de l'essence plombée au 1^{er} janvier 2000, action liée à la mise en place des pots catalytiques.

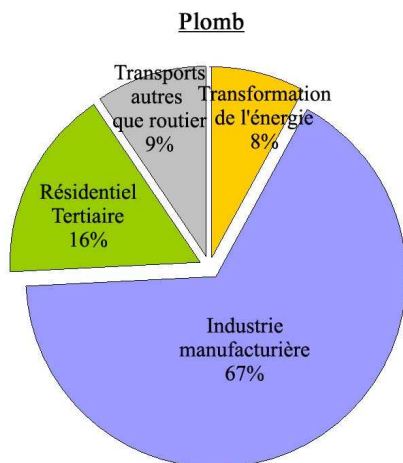


Fig.7 : Répartition des émissions en Plomb dans l'air en France Métropolitaine en 2004, source CITEPA

● En Bretagne

Les résultats de l'inventaire régional pour l'année 2000 réalisée par la CITEPA [5], montre que quatre secteurs se partagent équitablement les émissions de plomb :

- la transformation de l'énergie (25%)
- le secteur résidentiel/tertiaire (24%)
- l'industrie manufacturière (23%)
- les transports autres que routiers, notamment aériens (22%)

Dans l'atmosphère, le plomb inorganique se retrouve principalement sous forme particulaire. Les principales formes du plomb (inorganique) dans l'air sont des carbonates, des oxycarbonates, des oxydes et des sulfates.

Impact sur la santé [8]

La principale voie d'absorption du plomb par l'organisme est digestive, par le lait, l'eau et les boissons. Les écailles de peinture, les poussières présentes en milieu domestique peuvent être ingérées par les jeunes enfants (2 à 3 ans) par portage main-bouche. L'absorption pulmonaire peut jouer un rôle important pour les expositions professionnelles ou pour les personnes vivant sous les rejets atmosphériques d'entreprises polluantes, puisque 20% à 30% du plomb inhalé est absorbé par l'organisme.

La toxicité causée à long terme par le plomb est communément appelée « saturnisme ». Elle peut avoir des effets sur les systèmes nerveux, hématopoïétique et cardio-vasculaire. A forte dose, le plomb provoque des troubles neurologiques, hématologiques et rénaux. Il peut entraîner chez l'enfant des troubles du

développement cérébral, avec des perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire [1].

Le CIRC a classé le plomb et ses dérivés inorganiques parmi le groupe 2B (potentiellement cancérigène pour l'homme).

Réglementation

La mesure du plomb dans l'air ambiant est réglementée en France depuis l'**arrêté 2002-213 du 15 février 2002**. Ce texte fixe la valeur limite à **500 ng/m³**, et l'objectif de qualité à 250 ng/m³ (moyenne annuelle).

II.5 Niveaux rencontrés en milieu urbains

Le graphique ci-dessous représente les gammes de concentration susceptibles d'être mesurées dans l'air ambiant pour chacun des polluants étudiés. Cette figure a été réalisée en compilant les données d'autres AASQA¹ (2004 et 2005) qui effectuent des mesures en continu dans certaines villes françaises [9-22].

Les concentrations indiquées sur le diagramme correspondent à des sites urbains de fond ainsi qu'à des sites implantés à proximité des axes de circulations importants (sites trafics) et d'établissements industriels (sites industriels). Généralement, les valeurs hautes de chacune des « fourchettes de concentrations » coïncident avec des sites industriels.

Ces quatre éléments avaient déjà fait l'objet de mesure en août 2004 à Rennes (en site urbain au niveau de la rue du Lyonnais) dans le cadre de l'étude sur l'UIOM. Les concentrations relevées lors de cette campagne sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

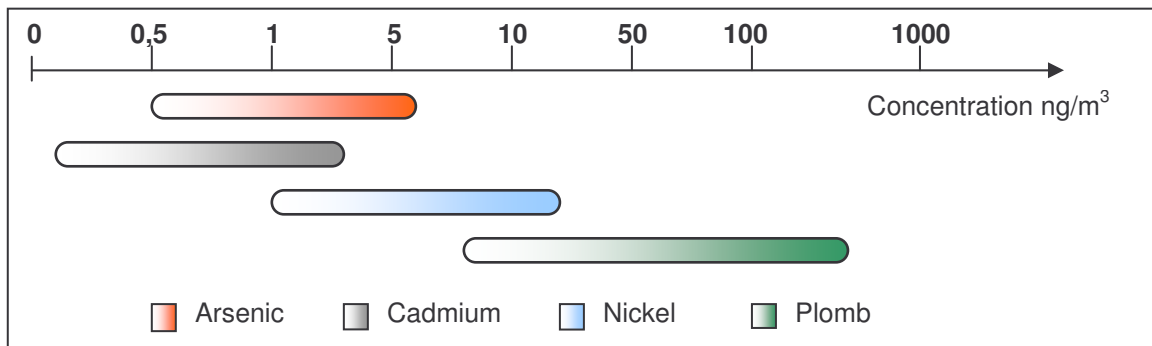


Fig.8 : Concentrations en métaux lourds mesurées dans les villes françaises

Composé	Campagne 2004 rue du Lyonnais 12 au 25 août
Arsenic	< 0,4 ng/m ³ (limite de quantification)
Cadmium	< 0,4 ng/m ³ (limite de quantification)
Nickel	1,1 ng/m ³
Plomb	1,4 ng/m ³

Tab.1 : Résultats de mesure des métaux lourds à Rennes en 2004

¹ Air Languedoc-Roussillon, AIRFOBEP, AIRELOR, AIRMARAIX, AIRENORMAND, AIRPARIF, ASCOPARG, ASPA, ATMO Champagne-Ardenne, ATMO Picardie, ATMO-Nord Pas de Calais, COPARLY, ORAMIP.

III. STRATEGIE DE CAMPAGNE

III.1 Site de mesure

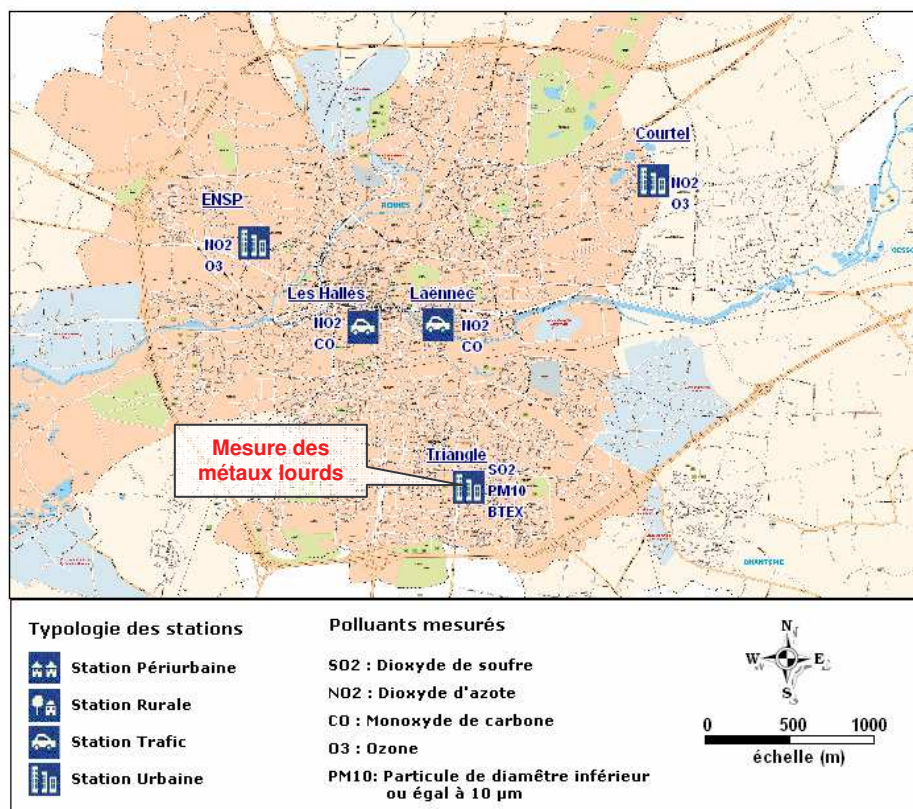


Fig.9 : Stations de mesure de la qualité de l'air à Rennes



L'objectif de l'étude est d'appréhender les niveaux de pollution en métaux lourds dans l'air (Pb, Ni, As, Cd) rencontrés à Rennes en zone urbaine (site de fond). Conformément à l'annexe III de la directive 2004/107/CE, le point de prélèvement se situe au niveau de la station urbaine du Triangle équipée d'un analyseur en continu de PM₁₀ (type TEOM). Le préleveur a été installé devant l'entrée Ouest du bâtiment à environ 40 mètres de l'avenue des Pays-Bas et à 100 mètres du boulevard de Yougoslavie.

Fig.10 : Localisation du préleveur Partisol Spéciation durant l'étude des métaux lourds à Rennes

III.2 Protocole

Prélèvements

Le protocole de prélèvement a été établi selon les préconisations du programme pilote national de surveillance des métaux particulaires atmosphériques et les recommandations du LCSQA [24].

La fraction PM10 des particules est prélevée à l'aide d'un Partisol Spéciation 2300. Ce dernier, est équipé de cartouche ChemCom comprenant un porte filtre et un impacteur de diamètre de coupure égal à 10 μm pour un débit nominal d'1 m^3/h (type bas débit ou LVS). L'utilisation de filtres à quartz de 47 mm (Whatman) de diamètre est préconisée pour des prélèvements hebdomadaires. Les vérifications de l'appareil et l'étalonnage (température, pression, tests de fuites) ont été réalisés avant le début de chacune des campagnes.

Analyses

Les filtres utilisés lors des campagnes de mesures sont pesés avant et après exposition par le laboratoire Micropolluants-Technologie-SA afin de déterminer quelles ont été les masses de particules piégées lors des prélèvements.

Les échantillons sont ensuite minéralisés par digestion acide en micro-onde fermé puis les métaux lourds sont dosés par Spectrométrie de Masse Induite par Couplage Plasma (ICP-MS).

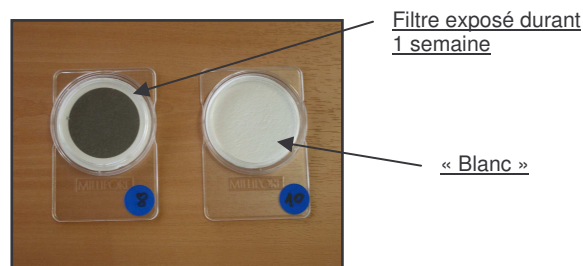


Fig.11 : Filtres conditionnés dans des Petri-slides avant envoi pour analyse

Afin de vérifier la qualité des prélèvements et du matériel utilisé, 2 filtres témoins dits « blanc transport » sont analysés.

Le premier (B1) est un filtre qui a été conservé au sein des locaux d'Air Breizh durant toute la campagne de mesure.

Le second (B2) a subi le même traitement (conditionnement, pesée, transport, mise en place dans l'appareil,...) que les échantillons mais n'a pas été exposé. Il permet de vérifier qu'il n'y a pas de contamination durant le transport et les manipulations.

III.3 Date de campagne

Selon la directive 2004/107/CE, la période minimale pour la mesure des métaux lourds (As, Cd, Ni) doit couvrir 14% (mesure indicative) de l'année, soit 51 jours.

L'étude des métaux lourds à Rennes s'est déroulée sur 4 mois (33% de l'année)

répartis en 2 périodes sur l'année 2005-2006 :

- **une campagne estivale**, du 18 août au 13 octobre 2005 (soit 57 jours),
- **une campagne hivernale** du 12 janvier au 9 mars 2006 (soit 57 jours).

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV.1 Limites de l'étude

Les résultats de mesures ne sont représentatifs que des périodes étudiées car les concentrations en polluants dans l'air sont fortement conditionnées par la météorologie. Il n'est donc pas possible d'extrapoler les résultats à d'autres périodes.

En raison de la durée d'échantillonnage (7 jours), cette étude permet de connaître les concentrations hebdomadaires moyennes en métaux lourds au niveau du site du Triangle.

En revanche, l'apparition d'éventuels « pics de pollution » ne peut être mise en évidence par cette méthode.

Durant la campagne estivale, le débit de l'appareil a été réglé à 0,6 m³/h au lieu d'1 m³/h, si bien que le diamètre de coupure est légèrement supérieur à 10 µm (selon la formule ci-dessous $D = 13 \mu\text{m}$), ce qui peut conduire à une surestimation faible des concentrations en métaux lourds.

IV.2 Conditions météorologiques

Les phénomènes météorologiques jouent un rôle primordial dans la dispersion des polluants dans l'air. Les observations météorologiques sont issues des mesures Météo-France relevées à la station Rennes-Saint Jacques.

Pendant la campagne estivale

Du 18 août au 13 octobre 2005, le temps a majoritairement été sec et anticyclonique (moyenne de 1019 hPa sur la période). Les rares épisodes dépressionnaires se sont traduits par des pluies abondantes (le cumul des précipitations a dépassé 5 mm lors des journées 22/08, 24/08, 09/09, 24/09, 12/10). L'ensoleillement particulièrement généreux aux mois d'août et de septembre, a fléchi début octobre. La fin du mois d'août (du 29 au 31) et la première moitié du mois de septembre sont marquées par des températures élevées. A partir du 16

septembre, les températures chutent, passant de 19,3°C en moyenne le 15/09 à 11,7°C le 18/09, puis remontent et se stabilisent autour de 15°C jusqu'à la fin du mois. Les températures diminuent une nouvelle fois autour du 3 octobre (10,7°C le 03/10) puis augmentent progressivement jusqu'au 11 octobre (19,1°C).

De mi-août à mi-octobre, la vitesse

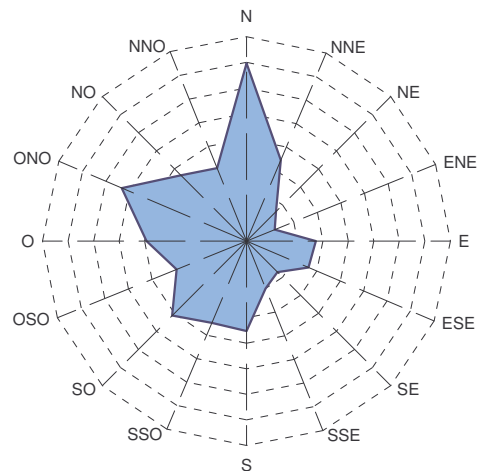


Fig.12 : Rose des vents de la campagne estivale du 18/08/05 au 13/10/05 réalisée par Air Breizh à partir des relevés Météo-France de Rennes Saint-Jacques

moyenne des vents est de 2,9 m/s. Bien que les directions de vents soient fortement variables d'une semaine à l'autre, trois secteurs ont été particulièrement représentés au cours de la campagne :

- Nord à Nord Nord Est : 20% des observations,
- Sud à Sud Ouest : 22% des observations,
- Ouest à Nord Ouest : 25% des observations.

Pendant la campagne hivernale

La première partie de la campagne de mesures (du 12 janvier au 17 janvier) est marquée par une diminution progressive des pressions associée à un flux d'est à sud-est. Les températures varient de 4°C et 13°C. A partir du 18 janvier, un épisode anticyclonique s'installe durablement jusqu'au 15 février et s'accompagne d'une chute des températures (température minimale de -6,2°C le 25 janvier). Le temps est nuageux et sec. Des précipitations neigeuses surviennent le 28 janvier, à la faveur d'un fléchissement de l'anticyclone. Durant la deuxième décade de février et au début du mois de mars, des flux perturbés d'ouest amènent de fortes précipitations (12 mm le 19/02/06) et entraînent un radoucissement des températures.

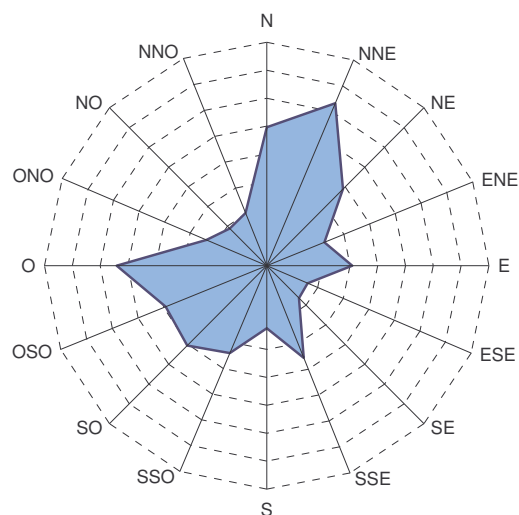
Avec une vitesse moyenne de 3,5 m/s, les vents ont été plus forts durant la campagne hivernale. Près de 50% des vitesses de vent

sont supérieures à 4 m/s entre le 12 janvier et le 9 mars 2006. Ce pourcentage tombe à 34 % pour la période estivale.

Bien que les directions de vents soient fortement variables d'une semaine à l'autre, deux secteurs ont été particulièrement représentés au cours de la campagne :

- Nord à Nord Est : 30 % des observations,
- Sud-Sud Ouest à Ouest : 32% des observations.

Fig.13 : Rose des vents de la campagne hivernale du



12/01/06 au 09/03/06 réalisée par Air Breizh à partir des relevés Météo-France de Rennes Saint-Jacques

IV.3 Analyse des blancs

La limite de quantification des du laboratoire est de 10 ng/filtre pour les 4 métaux étudiés. Cette valeur ramenée au

volume prélevé pendant une semaine donne une limite de quantification de l'ordre de 0,1 ng/m³.

	Filtres	[Ni] ng/filtre	[As] ng/filtre	[Cd] ng/filtre	[Pb] ng/filtre
Campagne estivale	B 1 (n°6)	65,0	< 10	< 10	10,9
	B 2 (n°10)	19,6	< 10	< 10	<10
Campagne hivernale	B 1 (n°15)	16,9	< 10	< 10	14,3
	B 2 (n°20)	< 10	< 10	< 10	<10

Tab.2 : Résultats d'analyse pour les blancs

Les résultats des blancs montrent qu'il n'y a pas eu de contamination des échantillons par les filtres ou les manipulations, pour l'arsenic, le cadmium et le plomb.

Concernant le nickel, les filtres à quartz en contiennent naturellement. Selon les tests réalisés par le LCSQA sur des filtres vierges Whatman-QMA (identiques à ceux que nous utilisons dans cette étude), la quantité de nickel présente dans les filtres varie de 20 à 28 ng/filtre en fonction du lot considéré [24]. La variabilité observée entre

le B1 (n°6) et le B2 (n°10) lors de la campagne estivale pourrait en partie être imputable à la composition du média filtrant.

Compte tenu de la difficulté à quantifier précisément la contamination de chaque filtre par le nickel, la valeur des blancs n'a pas été soustraite aux résultats des échantillons. Ainsi, il est probable que les concentrations en nickel soient légèrement surestimées.

IV.4 Niveaux de PM10 dans l'air ambiant

Les mesures des métaux lourds étant effectuées sur les particules fines (PM10), il apparaît intéressant de connaître l'évolution des teneurs en PM10. Le site de mesure du

Triangle dispose d'un appareil automatique de mesure des PM10 de type TEOM (microbalance à éléments oscillants).

Semaine	Campagne estivale		Campagne hivernale	
	Dates	Moyenne hebdo PM10 µg/m ³	Dates	Moyenne hebdo PM10 µg/m ³
1	18/08/05 - 25/08/05	12,7	12/01/06 - 19/01/06	15,2
2	25/08/05 - 01/09/05	16,9	19/01/06 - 26/01/06	21,9
3	01/09/05 - 08/09/05	16,4	26/01/06 - 02/02/06	29,3
4	08/09/05 - 15/09/05	16,7	02/02/06 - 09/02/06	21,5
5	15/09/05 - 22/09/05	15,1	09/02/06 - 16/02/06	25,1
6	22/09/05 - 29/09/05	16,6	16/02/06 - 23/02/06	12,2
7	29/09/05 - 06/10/05	18,3	23/02/06 - 02/03/06	16,3
8	06/10/05 - 13/10/05	24,3	02/03/06 - 09/03/06	10,8
Moyenne	18/08/05 - 13/10/05	17,2	12/01/06 - 09/03/06	18,8

Tab.3 : Concentrations moyennes en PM10 durant les campagnes au Triangle

Les moyennes hebdomadaires des concentrations en PM10 lors de la **campagne estivale** s'échelonnent entre 12,7 et 24,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le début de la campagne ayant eu lieu en août, il est à priori normal de retrouver des valeurs faibles durant les 2 premières semaines ; la période des vacances étant marquée par une diminution du trafic automobile et de l'activité économique. Durant la première semaine, le vent orienté de secteur Nord et Ouest-Nord-Ouest, a soufflé plus fort que les semaines suivantes, ce qui a pu favoriser la dispersion des particules.

Les concentrations moyennes hebdomadaires mesurées lors de la **campagne hivernale** varient entre 10,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 29,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs les plus élevées sont observées au cours des semaines 2, 3, 4, et 5. Cette période coïncide avec un long épisode anticyclonique, froid et sec. La semaine 3 est marquée par une température moyenne particulièrement basse avec 0,7°C. Le vent,

plus faible que pour les autres périodes, est principalement orienté de secteur Nord-Est à Est (hormis pour la semaine 5).

Les moyennes des concentrations horaires sont respectivement de 17,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la campagne estivale et de 18,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la campagne hivernale. Cette différence entre les 2 périodes (significative au seuil de 5%) est également observée sur l'ensemble des stations de mesures bretonnes et s'explique par des émissions plus importantes de particules dans l'atmosphère en hiver, saison durant laquelle les émissions liées au chauffage des logements s'ajoutent aux émissions issues du trafic automobile.

A titre de comparaison, la moyenne annuelle 2005 en PM10 au niveau de la station du Triangle était de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Lors de deux campagnes, les valeurs journalières sont restées inférieures à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur limite pour la protection de la santé humaine définie dans le décret 2002-213. De même, la valeur limite annuelle (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) n'est pas atteinte.

IV.5 Teneurs en métaux lourds

Situation par rapport à la réglementation

Par rapport aux valeurs de référence issues des directives européennes, les concentrations moyennes sur l'ensemble

des campagnes sont de l'ordre du dixième (Ni, As, Cd), voire du centième (Pb).

		[Ni] ng/m ³	[As] ng/m ³	[Cd] ng/m ³	[Pb] ng/m ³	PM10 (TEOM) μg/m ³
Campagne estivale	Moyenne	1,7	0,4	0,2	5,3	17,1
	Maxima hebdomadaires (n°de prélèvements)	2,2 (2)	0,7 (8)	0,3 (8)	10,2 (8)	24,3 (8)
Campagne hivernale	Moyenne	2,1	0,8	0,3	9,9	19,0
	Maxima hebdomadaires (n°de prélèvements)	4,0 (3)	2,1 (3)	0,6 (3)	27,6 (3)	29,3 (3)
Moyenne des 2 campagnes		1,9	0,6	0,3	7,6	18,1
Valeurs de référence		20	6	5	500	40

Tab.4 : Synthèse des mesures en métaux lourds à Rennes.

L'écart relatif entre les moyennes des 2 campagnes montre que les concentrations hivernales sont systématiquement supérieures aux niveaux estivaux, quelque soit l'élément considéré (de + 17% pour le cadmium à + 55% pour l'arsenic). Cette différence s'explique en partie par des plus fortes concentrations en PM10 dans l'air ambiant durant l'hiver (cf. IV.4).

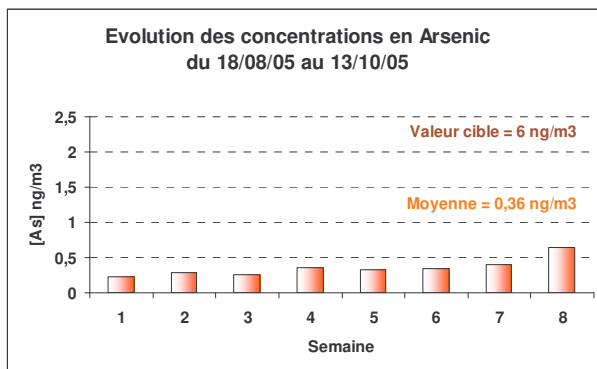
Les résultats de la campagne estivale 2005 sont du même ordre de grandeur que les valeurs mesurées en août 2004 à Rennes au niveau de la rue du Lyonnais.

Les concentrations hebdomadaires varient :

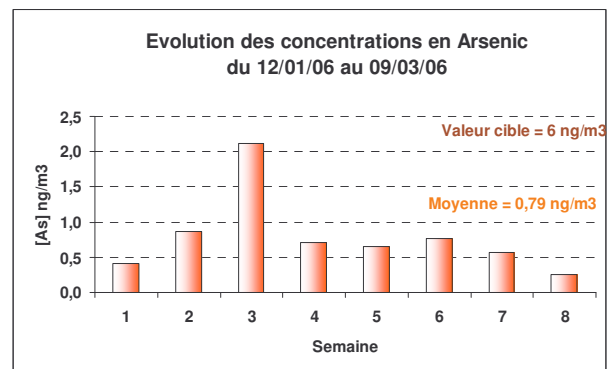
- de 0,2 ng/m³ à 2,1 ng/m³ pour l'arsenic,
- de 0,1 ng/m³ à 0,6 ng/m³ pour le cadmium (les résultats pour les 6 premiers échantillons de la campagne estivale sont inférieurs à la limite de quantification).
- de 1,1 ng/m³ à 4,0 ng/m³ pour le nickel,
- de 2,7 ng/m³ et 27,6 ng/m³ pour le plomb.

Campagne estivale

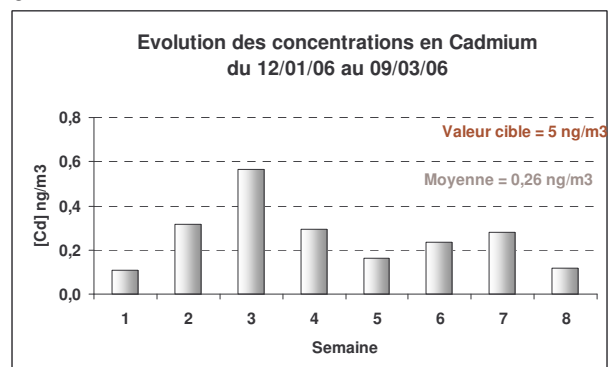
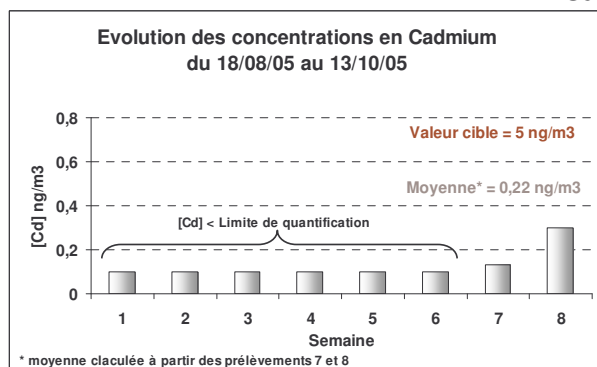
Arsenic



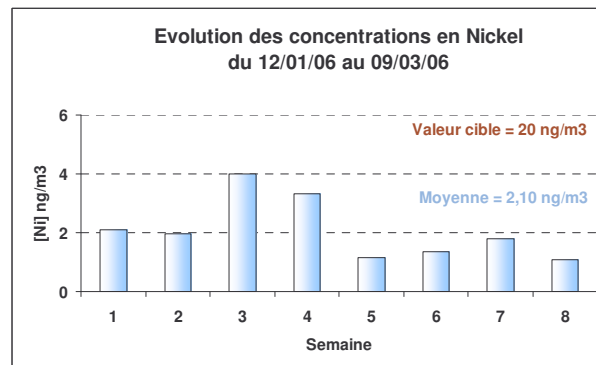
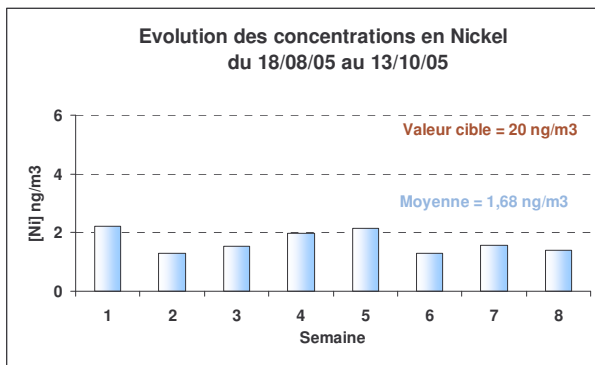
Campagne hivernale



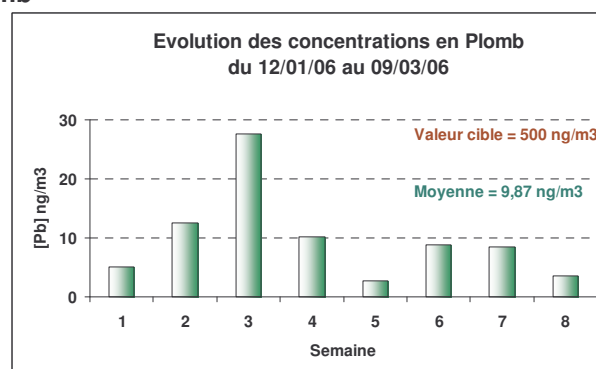
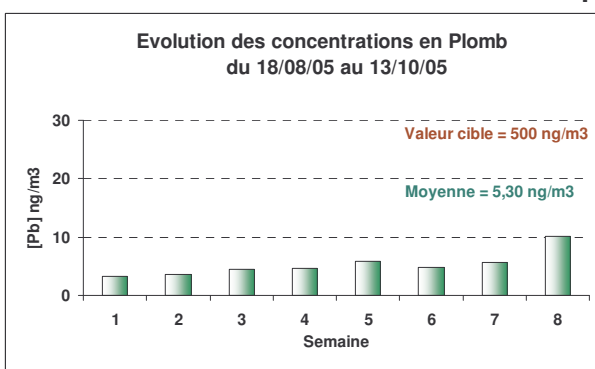
Cadmium



Nickel



Plomb



Les profils des concentrations hebdomadaires sont cohérents pour les mesures de nickel, cadmium, plomb, arsenic et particules. En effet, les concentrations maximales sont systématiquement retrouvées au cours de la dernière semaine pour la campagne estivale et au cours de la troisième semaine pour la campagne hivernale.

Pour la période hivernale, la médiane est inférieure d'environ 15% par rapport à la moyenne. Cette différence traduit le poids important de la semaine 3 dont la concentration est supérieure de 60% à 90% par rapport à celles relevées les autres semaines. Cette semaine étant marquée par des températures particulièrement basses, il

se peut que les émissions liées aux chauffages aient augmentées.

Les valeurs les plus élevées en métaux lourds sont également associées à des régimes de vents d'est modérés (de Nord-Nord-Est à Sud-Sud-Est). Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer ce phénomène :

- Les vents d'est sont liés à des conditions climatiques anticycloniques, peu favorables à la dispersion des polluants atmosphériques,
- Le vent amène par advection des particules en provenance d'une ou plusieurs sources situées à l'est du centre culturel du Triangle.

Comparaison à d'autres villes françaises

Les résultats des 2 campagnes de mesures ont été moyennés pour chacun des polluants afin de les comparer aux moyennes annuelles observées sur les sites permanents de mesure des métaux lourds de certaines AASQAs en 2004 ou 2005 [9-23].

Les concentrations relevées à Rennes durant cette étude sont comparables aux niveaux enregistrés dans les autres villes françaises. Les concentrations les plus élevées en métaux lourds sont principalement retrouvées à proximité de sites industriels (sidérurgie, pétrochimie, transformation de l'énergie).

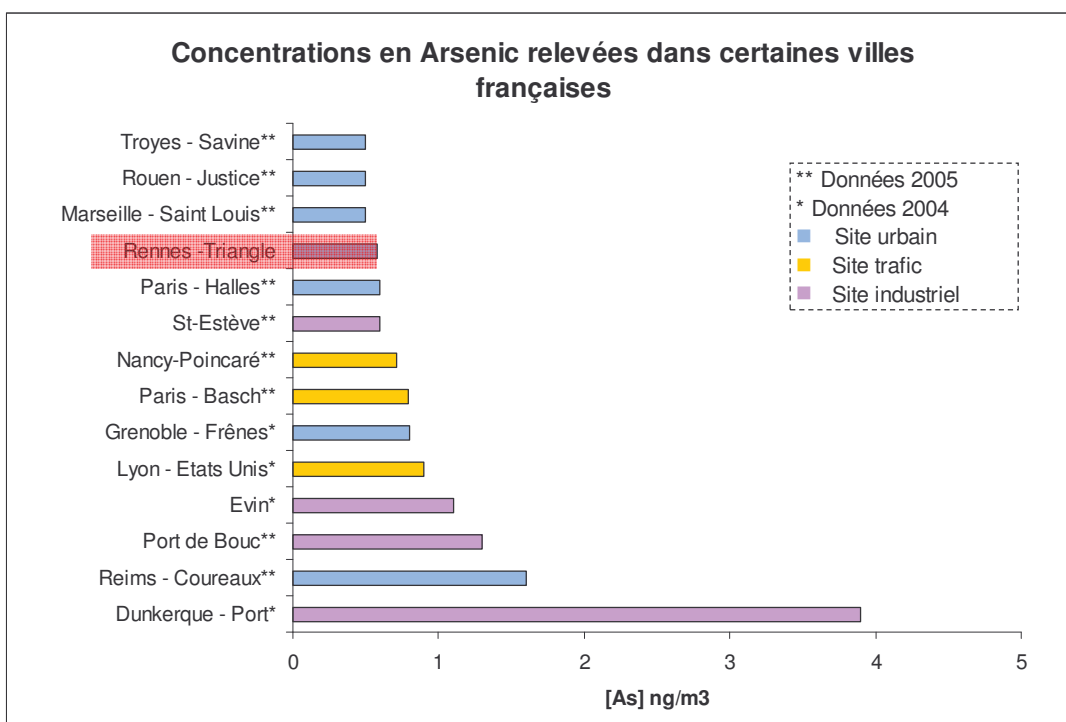


Fig.14 : Comparaison des concentrations en As dans différentes villes françaises

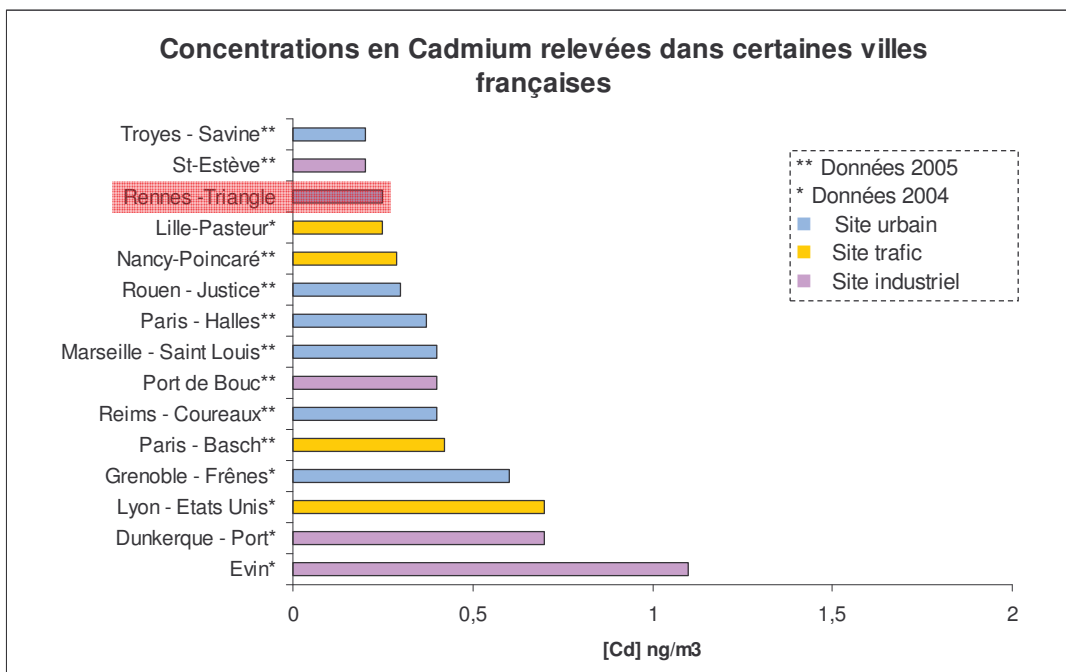


Fig.15 : Comparaison des concentrations en Cd dans différentes villes françaises

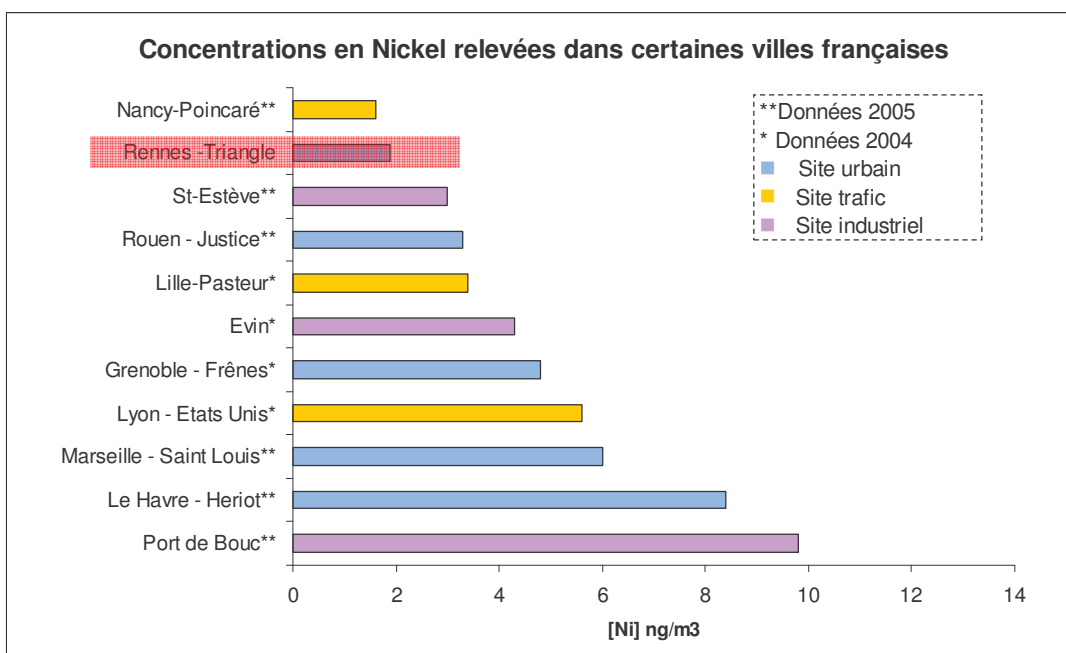


Fig.16 : Comparaison des concentrations en Cd dans différentes villes françaises

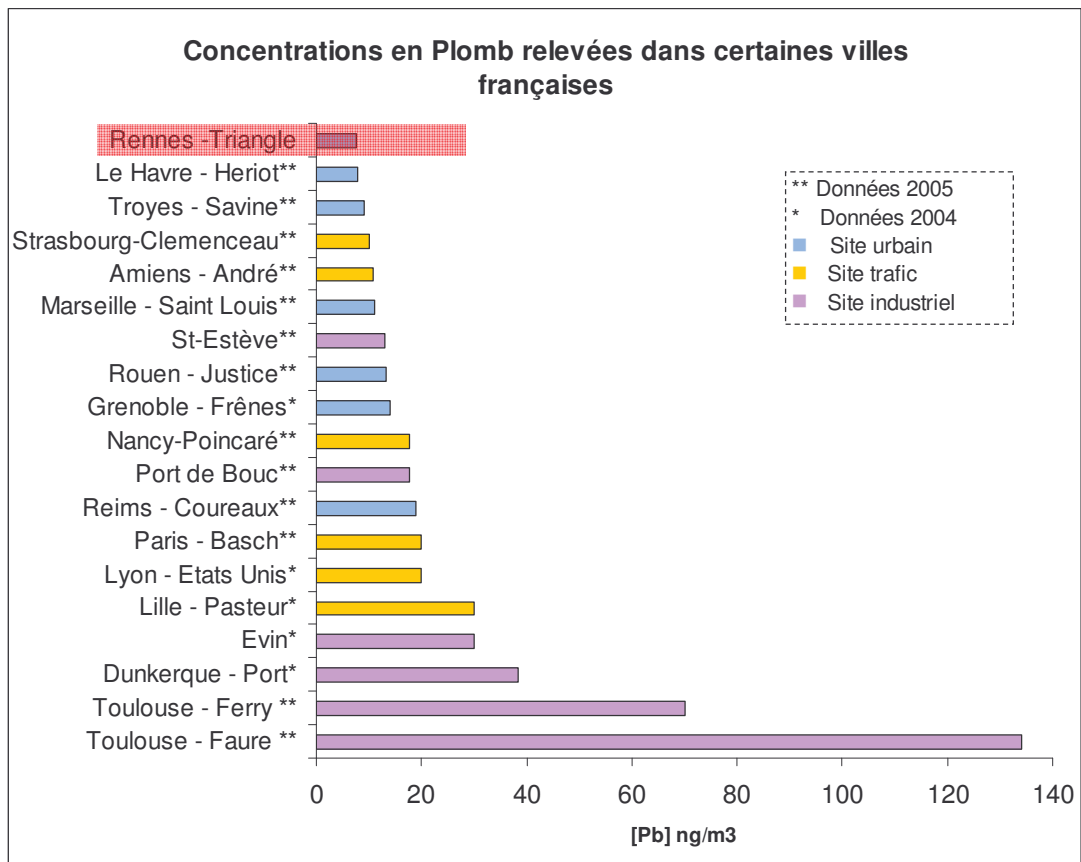


Fig.17 : Comparaison des concentrations en Pb dans différentes villes françaises

V. SYNTHÈSE

Cette première étude de mesure des métaux lourds s'est déroulée du 18 août au 13 octobre 2005 et du 12 janvier au 9 mars 2006 au niveau de la station de mesure urbaine du Triangle. Ces quatre mois de mesure donnent une première indication quant aux concentrations en cadmium (Cd), plomb (Pb), nickel (Ni) et arsenic (As) dans l'atmosphère de l'agglomération rennaise.

Ces quatre éléments avaient fait l'objet de mesure en août 2004 au niveau de la rue du Lyonnais. Les concentrations relevées en 2005 sont comparables aux résultats de 2004. Ce constat tend à montrer une certaine reproductibilité des mesures dans le temps et dans l'espace au niveau de Rennes. Cette hypothèse demanderait à être approfondie par d'autres études.

Par rapport aux valeurs de références issues des directives européennes, les concentrations moyennes sur l'ensemble des campagnes sont de l'ordre du dixième (Ni, As, Cd), voire du centième (Pb).

Pour chacun des polluants, une étude comparative avec les résultats d'autres villes françaises a été effectuée. Les niveaux mesurés à Rennes sont du même ordre de grandeurs que ceux relevés sur d'autres sites urbains.

La transcription prochaine en droit français de la directive européenne 2004/107/CE devrait rendre obligatoire la surveillance de l'arsenic, du cadmium et du nickel dans l'air ambiant en vue d'évaluer le respect des valeurs cibles pour la protection de la santé humaine. Il pourrait être envisagé, sous réserve de financement, d'équiper l'une des stations de mesures d'un préleveur permanent pour le suivi des ces polluants comme c'est déjà le cas dans plusieurs autres villes françaises (cf. V.5).

GLOSSAIRE

µg	Microgramme = 10 ⁻⁶ g
µm	Micromètre = 10 ⁻⁶ m
AASQA	Association(s) Agrée(s) de Surveillance de la Qualité de l’Air
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
As	Arsenic
BTEX	Benzène, Toluène, Ethyl-benzène, Xylènes
Cd	Cadmium
CEREGE	Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
CO	Monoxyde de carbone
Dermatite	Inflammation de la peau
Hématopoïétique	Qui concerne l'hématopoïèse (formation des globules sanguins, notamment dans la moelle rouge des os)
ICP-MS	Inductively coupled plasma-mass spectrometry
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air
Néphropathie	Terme générique désignant les maladies du rein
ng	Nanogramme (10 ⁻⁹ g)
Ni	Nickel
NO ₂	Dioxyde d’azote
O ₃	Ozone
Objectif de qualité	Niveau de concentration de substances polluantes dans l’atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques dans le but d’éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l’environnement, à atteindre dans une période donnée
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
Pb	Plomb
Petrislides	Boîtes en matière plastique transparente servant au transport des filtres
PM10	Particules de diamètre inférieur ou égal à 10µm
PM2,5	Particule de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm
SO ₂	Dioxyde de soufre
Tractus	Faisceau de fibres, nerveuses ou musculaires
Valeur cible	Concentration dans l’air ambiant fixée dans le but d’éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs pour la santé des personnes et l’environnement dans son ensemble qu’il convient d’atteindre, si possible dans un délai donné.
Valeur limite	Niveau fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d’éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l’environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] <http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dppgss/air1997/element.htm>
- [2] INERIS, « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Arsenic et ses dérivés inorganiques » – 2006, version n°3, 78 p.
- [3] PERDRIX E – Etude n°4 Spéciation des particules atmosphériques – Ecole des Mines de Douai , Département Chimie et Environnement, 2000
- [4] CITEPA, Emissions dans l'air en France – métropole – Métaux lourds, mise à jour du 18 avril 2006
- [5] CITEPA, Emissions dans l'air en France métropole, Inventaire Départemental France 2000, février 2005
- [6] INERIS, « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques Cadmium et ses dérivés » 2005, version n°2, 60 p.
- [7] INERIS, « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques Nickel et ses dérivés » 2006, version n°1, 70 p.
- [8] INERIS, « Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques Plomb et ses dérivés » 2003, version n°2, 90 p.
- [9] AIR Languedoc-Roussillon, « Surveillance de l'environnement de l'incinérateur de Lunel-Viel Bilan 2005 Résumé », Montpellier, 9p.
- [10] AIR Languedoc-Roussillon, « Surveillance permanente des métaux dans l'environnement de l'incinérateur de Calce Bilan 2005 », Montpellier, 4p.
- [11] AIRFOBEP, « Bilan de la qualité de l'air en 2005 », Martigues, 168p.
- [12] AIRLOR, « Bilan d'activité Airlor 2005 », Vandoeuvre-les-Nancy, 14p.
- [13] AIRMARAIX, « Rapport d'activité Airmaraix 2005 », Marseille,
- [14] AIRNORMAND, « Bilan des mesures 2005 », Rouen, 31 p.
- [15] AIRPARIF, « Bilan de la qualité de l'air en Ile de France en 2005 », Paris, 29p.
- [16] ASCOPARG, « Surveillance de la qualité de l'air de l'arrondissement de Grenoble Statistiques 2004 », Grenoble, 1p.

- [17] ASPA, « Statistiques des données de la qualité de l'air en Alsace, année 2005 », Schiltigheim.
- [18] ATMO Champagne-Ardenne, « Bilan d'activité 2005 Atmo Champagne Ardenne », Reims, 86p.
- [19] ATMO Picardie, « Quel air est-il ? - Bulletin d'information sur la qualité de l'air en Picardie - Numéro spécial - Les résultats 2005 », Amiens, 2006,
- [20] ATMO Nord-Pas de Calais, « Bilan de la qualité de l'air en 2004 », Lille, 63p.
- [21] COPARLY, « Surveillance de la qualité de l'air du département du Rhône et de l'agglomération lyonnaise Rapport d'activité 2004 », Lyon, 12 p
- [22] ORAMIP, « Oramip infos n°78, Janvier Février 2006 » Toulouse.
- [23] MATHE., ROBACHE, GALLOO “Conditions de prélèvements des particules en vue de l'analyse des métaux. Rapport LCSQA, Ecole des Mines de Douai, Etude n°5, décembre 1999.
- [24] MATHE., ROBACHE, GALLOO “Conditions de prélèvements des particules en vue de l'analyse des métaux. Rapport LCSQA, Ecole des Mines de Douai, Etude n°4, décembre 2001.
- [25] ROBACHE, ALLEMAN, GALLOO, Etude n°6 – 2004 Prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant. Rapport LCSQA, Ecole des mines de Douai, Etude n°6, décembre 2004.
- [26] WILLIAMS, BRUCKMANN, “A report on guidance to member states on PM10 monitoring and intercomparisons with the reference method “. EC Working Group on Particulate Matter, janvier 2002, 69p.
- [27] HOUDRET, MATHE, “Programme pilote national de surveillance des particules”. Rapport LCSQA, Ecole des Mines de Douai, Etude n°10, décembre 2003, 25p.
- [28] Conseil économique et social des Nations Unis, “Risques pour la santé présentés par les métaux lourds provenant du transport transfrontalier à longue distance des polluants atmosphériques“. Centre européen de l'environnement et de la santé de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), Genève, septembre 2006, 6p. Ref : ECE/EB.AIR/WG.1/2006/12