

Evaluation des conséquences sanitaires et environnementales de la pollution d'origine industrielle au cadmium

Autour du site TLM dans le 15eme arrondissement de Marseille

Novembre 2001

Financement

Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier de l'Institut de Veille Sanitaire (CIRE Sud/DRASS) (convention du 03 Janvier 2001) et celui du Conseil Général des Bouches-du-Rhône (convention du 13 Juillet 2001).

Comité Scientifique :

Présidé par l'Observatoire Régional de la Santé de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

- Dr Michel Rotily
- Dr Pierre Verger
- Lydie Trémolières

Institut de Veille Sanitaire

- Nadine Fréry
- Martine Ledrans

Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie des régions Provence-Alpes-Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Corse

- Dr Alexis Armengaud
- Jean-Luc Lasalle

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales des Bouches du Rhône

- Max Garans
- Dr E.Jean
- Dr Francis Charlet
- Jean-Luc Duponchel

Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement PACA

- François-Xavier Rouxel
- Gilbert Sandon

Faculté de Médecine et Centre Hospitalier Régional Universitaire de Marseille

- Pr Yvon Berland
- Pr Jean-Louis Bernard
- Pr Denis Charpin
- Dr Françoise Leonetti
- Dr Pascale Pillon
- Dr Raj Purgus

Centre d'Investigation Clinique de Sainte-Marguerite

- Pr Jean-Paul Bernard

Conseil Général 13, Direction Générale adjointe de la Solidarité

- Dr Nicole Hugues

Inspection Académique 13

- Dr Façoise Pelleing

Institut de Médecine du travail

- Pr Alain Botta

Centre Antipoison de Marseille

- Dr Jocelyne Arditti

Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement

- Yves Noack

Direction Santé Environnement de la ville de Marseille

- Dr Nadia Bennedjai
- Thierry Delmas
- Jean-Claude Millelire

Réseau de suivi de qualité de l'air AIRMARAIX

- Carole Geneve

Etudes environnementales :

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales PACA Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Sud

- Jean-Luc Lasalle
- Alexis Armengaud

Autres partenaires :

Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement PACA

- François-Xavier Rouxel
- Gilbert Sandon
- Patrick Flour

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales des Bouches du Rhône

- Max Garans
- Gérard Girouin
- Francis Charlet

Observatoire Régional de la Santé de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

- Lydie Trémolières

Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales PACA

Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Sud

- Alexis Armengaud

Réseau de suivi de qualité de l'air AIRMARAIX

- Carole Geneve
- Dominique Robin

Centre Européen de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement

- Yves Noack

Ville de Marseille – Direction Santé-Environnement

- Thierry Dalmas

Etudes épidémiologiques :

Responsabilités scientifiques

Institut de Veille Sanitaire

- Nadine Fréry
- Martine Ledrans

Observatoire Régional de la Santé de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

- DR Michel Rotily
- Dr Pierre Verger

Coordination des enquêtes

Observatoire Régional de la Santé de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

- Lydie Trémolières

Enquêteurs

Institut de Formation en Soins Infirmiers de La Blancarde (Marseille)

- Stéphanie Agemian
- Benoît Longin
- Sandrine Marty
- Isabelle Vrillet

Enquêteurs recrutés par l'ORS

- Rachida DEBBACHE
- Dan Michael Azoulay
- El Rhazi Kalif
- Sophie Planez

Etudiant en faculté de médecine DCEM, 2^{ème} cycle en médecine

- Emilie Zanin

Dosages

Laboratoire de Toxicologie Industrielle et Environnementale (Clinique Universitaire Saint-Luc),
Bruxelles

Conditionnement pour les envois des prélèvements

Centre d'Investigation Clinique Sainte-Marguerite

- Pr Jean-Paul Bernard
- Patricia Dupuy
- A. Vazi

Saisie, analyses et statistiques

Etude Adultes (Institut de Veille Sanitaire)

Saisie : Mme C. Castors

Analyses : N.Fréry, C. Castors, A. Le Tertre, Sepia)

Etudes Enfants (Observatoire Régional de la Santé)

Saisie : Laurent Mayer

Analyses : Anderson Loundou

Relecture et mise en page

- Zohra Gorine
- Caroline Sangiuolo

Remerciements :

Aux élus, aux instituteurs et aux services administratifs des écoles de l'Education Nationale,
aux parents.

A Philippe Quénel (InVS) et Isabelle Momas (Université Renée Descartes, Faculté des
Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris).

Résumé du rapport des études d'évaluation environnementale et épidémiologique

Une pollution au cadmium a été constatée en Août 1999 dans le quartier Saint-Louis à Marseille. La source de cette pollution était l'entreprise Tréfileries et Laminoirs de la Méditerranée (TLM) qui fabrique depuis plusieurs dizaines d'années des fils d'alliage cuivre-cadmium utilisés pour l'équipement des caténaires ferroviaires. Cette source de pollution a été immédiatement supprimée suite à une mise en demeure préfectorale : l'usine TLM a arrêté sa production utilisant du cadmium. Le procédé utilisant du cadmium était employé par l'usine TLM depuis 1980 environ.

Afin d'évaluer les conséquences sanitaires susceptibles de résulter de l'exposition au cadmium rejeté par l'entreprise TLM à Marseille (quartier Saint Louis), une démarche d'évaluation englobant les aspects environnementaux et sanitaires a été mise en œuvre dès Septembre 1999 sous l'autorité d'un Comité Scientifique coordonné par l'Observatoire Régional de la Santé (ORS PACA).

Ce comité se compose de représentants et d'experts de l'ORS PACA, de l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), de la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie (CIRE), de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS), de la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE), du Service Communal d'Hygiène et de Santé (SCHS) de la ville de Marseille, du Centre Antipoisons (CAP), du Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (CEREGE) et d'AIRMARAIX ainsi que de plusieurs Professeurs des Facultés, experts dans diverses spécialités médicales.

Le cadmium est un métal lourd qui s'accumule dans l'organisme dont il est éliminé très lentement. Les effets toxiques du cadmium concernent essentiellement le rein où le cadmium incorporé s'accumule progressivement au cours du temps. La toxicité rénale du cadmium se traduit au début par une augmentation de l'excrétion de protéines de petite taille dans les urines (protéines de faible poids moléculaire telles que la Retinol Binding Protein (RBP). Il est admis que cette atteinte rénale peut apparaître lorsque les concentrations de cadmium dans les urines sont supérieures au seuil de 2 microgrammes par gramme ($\mu\text{g/g}$) de créatinine. Ces atteintes étant liées à l'accumulation du cadmium dans le rein, elles ne se manifestent, en général, qu'à l'âge adulte.

L'exposition aux rejets de cadmium de l'usine TLM a pu résulter de l'inhalation d'air et de poussières contaminées et de l'ingestion de produits alimentaires (légumes ou fruits) contaminés. Concernant les enfants, une contamination liée à l'ingestion par les contacts « mains-bouche » de poussières contaminées a également pu se produire. En effet, le cadmium rejeté par l'usine TLM s'est déposé sur les sols environnants contaminant notamment les jardins potagers.

Afin d'évaluer les conséquences des rejets de cadmium pour la santé, le Comité Scientifique a proposé la mise en place :

- 1) D'une étude environnementale pour cerner et caractériser la zone polluée ;
- 2) D'une étude épidémiologique auprès des enfants de l'école Saint-Louis Gare jouxtant l'usine, des personnels de cette école et des adultes résidant dans le quartier Saint-Louis pour évaluer les niveaux d'exposition au cadmium de la population et étudier son impact sanitaire.

1/ Etude environnementale

La zone exposée autour de l'usine TLM a été délimitée à partir des résultats d'une modélisation des rejets atmosphériques de l'usine et de ceux d'une campagne de prélèvements de sols et de végétaux (divers légumes et fruits).

En parallèle, il a été demandé à l'Institut National d'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) de proposer, sur la base d'une évaluation des risques, une valeur de concentration de cadmium dans les sols au-dessus de laquelle une décontamination devrait être effectuée.

1.1/ Résultats de ces évaluations

- Les concentrations de cadmium les plus élevées dans les échantillons de sol sont rencontrées dans les 200 mètres autour du site TLM ;
- Dans la direction du nord et au-delà d'une distance de 300 mètres, les concentrations sont inférieures à la valeur guide proposée par l'INERIS (3 mg/kg) pour la décontamination ;
- Dans la direction du sud et au-delà de 500 mètres, une mesure montre une concentration de cadmium supérieure à la valeur guide de l'INERIS ;
- Dans la direction du sud-est, il existe aussi des dépassements notamment dans les jardins potagers de la « SNCF ».

Par ailleurs, les résultats des analyses montrent que certains végétaux provenant des jardins potagers de la zone exposée, en particulier les plantes aromatiques, les champignons et les salades, sont significativement contaminés. Cette contamination des végétaux diminue lorsque l'on s'éloigne du site de TLM mais elle reste néanmoins supérieure aux valeurs de référence du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France au moins jusqu'à 500 mètres du site.

Enfin, depuis l'arrêt de l'utilisation de cadmium par l'usine TLM, une diminution considérable des teneurs en cadmium dans l'air a été observée : aucun dépassement de la recommandation de l'OMS concernant la concentration de cadmium dans l'air (concentration moyenne annuelle égale à 5 ng/m³) n'a été observé depuis le début de l'année 2001.

1.2/ Plan de dépollution

En plus de l'arrêt de l'utilisation du cadmium dans le procédé de fabrication de l'usine TLM, plusieurs décisions ont été prises sans attendre les résultats des études :

- 1) Les écoles du quartier Saint-Louis ont subi un lavage au Karcher (extérieurs) et un lavage soigneux (intérieurs) avant la rentrée des classes de Septembre 1999 ;
- 2) Le site industriel a été dépollué entre Décembre 1999 et Mars 2000 ;
- 3) Tous les jardins se trouvant dans un rayon de 200 mètres de l'usine ont été décontaminés entre Mai et Septembre 2000 par excavation de la terre sur une profondeur de 50 cm.

2/ Etude épidémiologique

L'objectif de l'étude épidémiologique était de vérifier si les résidents du quartier Saint-Louis d'une part et les enfants fréquentant l'école Saint-Louis d'autre part, étaient exposés au cadmium rejeté par l'usine TLM à des niveaux risquant d'induire un impact sur leur santé. Pour ce faire, l'étude a été effectuée par comparaison avec les résidents d'un autre quartier de la ville de Marseille, le quartier de La Rose, non-exposé, comme des mesures environnementales de cadmium ont permis de le confirmer. Par ailleurs, un second objectif de l'étude était de vérifier quels facteurs, liés notamment au mode de vie (consommation alimentaire, par exemple), pouvaient favoriser l'exposition aux rejets de l'usine TLM.

L'étude épidémiologique a été effectuée conformément aux règles de bonne pratique en épidémiologie et après autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

Pour chaque participant, l'exposition au cadmium a été mesurée sur un prélèvement d'urines par l'Unité de Toxicologie Industrielle et Environnementale de la Clinique Universitaire Saint Luc à Bruxelles (Belgique). Le dosage du cadmium dans les urines fournit un bon reflet de l'exposition passée mais aussi récente au cadmium. Les participants ont aussi répondu à un questionnaire afin d'identifier les différents facteurs de risque d'exposition au cadmium.

2.1/ Résultats concernant les enfants

L'étude visait l'ensemble des enfants âgés entre 3 et 11 ans ayant fréquenté l'école Saint-Louis Gare lors de l'année scolaire 1999-2000 ainsi que ceux qui fréquentaient cette école en 1999 et sont passés au collège en 2000 : 105 enfants ont pu être inclus dans l'étude. Par ailleurs, 97 enfants de l'école de La Rose Castors, école témoin, ont également été inclus.

Tous les dosages de cadmium effectués chez les enfants de l'école Saint-Louis Gare étaient faibles, largement inférieurs à la valeur de référence communément admise de 2 microgrammes de cadmium par gramme de créatinine. Cependant, la comparaison de ces dosages avec ceux effectués chez les enfants de l'école témoin a montré des niveaux un peu plus élevés chez les enfants de la zone exposée.

Les dosages de RBP effectués en complément chez les enfants ont permis de vérifier qu'ils étaient faibles et inférieurs à la valeur de référence dans le groupe exposé comme dans le groupe non-exposé. Aucune association n'a été mise en évidence entre les dosages de RBP et les cadmiuries.

L'analyse des réponses au questionnaire a montré que plusieurs facteurs étaient associés à des niveaux de cadmium dans les urines plus élevés, chez les enfants de l'école Saint-Louis :

- Habiter dans la zone exposée ;
- Habiter dans la cité des Créneaux : les niveaux de cadmium dans les urines chez les enfants résidant dans cette cité, non-exposée selon les résultats de l'étude environnementale, étaient significativement plus élevés que chez les enfants résidant en dehors de la zone exposée mais restaient inférieurs à 2 µg/g de créatinine ;
- L'activité professionnelle des pères : les niveaux de cadmium étaient significativement plus élevés chez les enfants dont le père était au chômage ou sans activité ; ce résultat a déjà été observé dans d'autres études d'imprégnation aux métaux lourds qui montrent fréquemment des niveaux plus élevés lorsque le niveau socio-économique est plus défavorisé.

Une lettre individuelle a été envoyée aux parents et à leur médecin traitant dès le mois d'Octobre 2000 pour leur communiquer les résultats individuels.

2.2/ Résultats concernant les adultes

Concernant les adultes, l'étude visait les personnes résidant dans la zone exposée et *a priori* les plus à risque d'avoir été exposées aux rejets de cadmium de l'usine TLM, c'est-à-dire : les personnes âgées d'au moins 35 ans et résidant dans le quartier Saint-Louis depuis au moins 10 ans, les propriétaires de jardin potager et le personnel ayant fréquenté l'école Saint-Louis Gare.

Les personnes répondant à ces critères ont été incluses après tirage au sort et après avoir donné leur consentement pour participer à l'étude. Finalement, 20 personnes ayant travaillé à l'école et 179 personnes résidant dans le quartier Saint-Louis dans une zone d'étude délimitée par la modélisation et complétée par des mesures environnementales des sols ont été incluses dans l'étude. Ces dernières ont été comparées à 108 personnes résidant dans une zone non-exposée du quartier La Rose (confirmation par des mesures environnementales) et présentant des caractéristiques démographiques similaires.

Un niveau de cadmium dans les urines supérieur à la valeur de référence de 2 microgrammes de cadmium par gramme de créatinine a été détecté chez 7 des 179 résidents de Saint Louis. Mais ces dépassements sont de faible amplitude (inférieurs à 3,4 µg de Cd/g de créatinine). Chez ces personnes, les analyses médicales complémentaires n'ont pas montré d'atteinte rénale (dosages normaux de la protéine RBP dans les urines).

Aucun dépassement de la valeur de référence pour le cadmium urinaire n'a été observé chez les résidents de la zone témoin ou parmi le personnel de l'école Saint Louis. Celui-ci présentait des niveaux de cadmium urinaire semblables, voire inférieurs à ceux des résidents de la zone témoin.

L'analyse des réponses aux questionnaires des habitants du quartier Saint-Louis a montré que plusieurs facteurs étaient associés à des niveaux de cadmium dans les urines significativement plus élevés :

- Habiter près du site de l'usine TLM ;
- Habiter depuis plus de 15 ans dans la zone exposée ;
- Être propriétaire d'un jardin potager ou d'un verger ;
- Consommer des fruits et des légumes provenant de la zone exposée.

Une lettre individuelle a été envoyée aux participants et à leur médecin en Janvier 2001 pour les informer des résultats des dosages urinaires. Des analyses de contrôle ont été effectuées auprès de 4 personnes (parmi les 7 ayant un dépassement) qui ont accepté un second prélèvement. Ces analyses confirment les résultats du premier prélèvement. Un courrier a été envoyé à ces personnes et à leur médecin traitant en Mars 2001 pour leur communiquer le résultat de l'analyse de contrôle, leur recommander la réalisation d'un bilan rénal et leur proposer de se mettre en contact avec le Service de Néphrologie de l'hôpital de la Conception (Marseille) pour examiner les modalités de ce bilan. Depuis ce courrier, aucun des médecins auxquels le courrier a été adressé n'a contacté ce service. Un nouveau courrier a été adressé aux médecins traitants en Septembre 2001.

3/ Prise en charge et recommandations

3.1/ Environnement

Le Comité Scientifique a recommandé que le bilan environnemental soit complété afin d'identifier les jardins potagers situés au-delà de la zone des 200 mètres qui devraient bénéficier d'une décontamination. L'extension du bilan concerne notamment les jardins SNCF situés au sud du site ainsi que la cité des Créneaux, située au nord-est du site.

Les modalités selon lesquelles des opérations de décontamination complémentaires devraient être menées (délimitation de la zone, choix des valeurs guide de niveau de décontamination, ...) sont à définir par les organismes d'évaluation et de gestion compétents (CIRE, DDASS, DRIRE, INERIS, ...).

Les concentrations en cadmium dans l'atmosphère devront également être surveillées pendant les opérations de démontage et de nettoyage des installations contaminées sur le site de l'usine TLM.

3.2/ Enfants

Une prise en charge médicale des enfants de l'école Saint-Louis n'est pas justifiée, les valeurs de cadmiurie et de RBP étant basses.

3.3/ Adultes

Personnes ayant dépassé la valeur de référence

Un contrôle de la cadmiurie devra être effectué dans un délai d'un an au moins après la mise en œuvre d'actions de dépollution. Pour les sujets possédant un jardin et résidant dans la zone exposée en dehors de celle des 200 mètres, une décontamination des jardins devrait être effectuée de façon prioritaire après un bilan environnemental personnalisé.

Population non couverte par l'étude épidémiologique

L'organisation d'un dépistage complémentaire d'anomalies rénales, potentiellement liées à l'exposition au cadmium dans la population non couverte par l'étude épidémiologique, ne paraît pas justifiée. En effet, les résultats des études effectuées indiquent que le risque de présenter des anomalies rénales liées au cadmium au sein de la population adulte résidant dans la zone exposée est très faible, même lorsqu'il s'agit de la population la plus exposée.

Cependant, le Comité Scientifique a considéré que la possibilité de faire effectuer un dosage de cadmiurie devait être proposée aux adultes qui résident dans la zone exposée depuis plusieurs années ou possèdent un jardin ou un potager et n'ont pas fait partie de l'étude épidémiologique, lorsqu'ils le demandent.

Sommaire

I. PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE	1
1. La découverte d'une pollution atmosphérique au cadmium	1
2. Bilan des données disponibles	1
3. Evaluation sommaire des risques sanitaires	1
4. Contexte social	2
II. ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES EFFETS DU CADMIUM	3
1. Le Cadmium : un toxique cumulatif	3
2. Les indicateurs biologiques d'exposition et d'effet du cadmium disponibles	4
2.1. Cadmium dans les cheveux	4
2.2. Cadmium dans le sang	4
2.3. Cadmium urinaire	4
2.4. Protéines de bas poids moléculaire et enzymes urinaires	5
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES DES ÉVALUATIONS MIS EN ŒUVRE	7
1. Evaluation de la pollution environnementale	7
1.1. Bilan des données disponibles	7
1.2. Modélisation des immissions	7
1.3. Mise en place d'un diagnostic environnemental	8
1.4. Evaluation des risques sanitaires	8
1.5. Caractérisation du transfert du cadmium dans les sols	9
1.6. Campagne de prélèvements et d'analyses de poussières, de sols et de légumes	9
1.7. Suivi de la qualité de l'air	9
1.8. Caractérisation d'une zone témoin	10
1.8.1. Teneurs en cadmium dans les sols	10
1.8.2. Teneurs en cadmium dans l'atmosphère	10
1.9. Plan d'action environnemental	10
2. Etude épidémiologique d'imprégnation	11
2.1. Justification	11
2.2. Objectifs de l'étude	11
2.3. Type d'enquête	12
2.4. Choix de l'indicateur biologique d'exposition et d'effet	12
2.5. Population d'étude	13
2.5.1. Choix de la population d'étude	13
2.5.2. Définition de la population	14
2.6. Modalités de sélection des sujets de l'étude	17
2.6.1. Enfants	17
2.6.2. Adultes	17
2.6.3. Zone témoin et population témoin	17
2.6.4. Tirage au sort des individus	18
2.6.5. Nombre de sujets nécessaires	18
2.6.6. Moyenne et variance de la cadmiurie	18

2.6.7. Pourcentage des personnes présentant une cadmiurie supérieure à 2 µg/g de créatinine	18
2.7. Déroulement de l'étude, organisation pratique	19
2.7.1. Enfants	19
2.7.2. Adultes	20
2.8. Questionnaire	20
2.9. Dosages	21
2.10. Restitution individuelle des résultats	22
2.11. Analyse statistique	22
2.12. Aspects éthiques et déontologiques	23

IV. RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE 24

1. Bilan des données disponibles	24
2. Modélisation des immissions	24
3. Evaluation des risques sanitaires	25
4. Caractérisation du transfert du cadmium dans les sols	26
5. Campagne de prélèvements et d'analyses de poussières, de sols et de légumes	28
5.1. Sols	28
5.2. Poussières	30
5.3. Analyse des teneurs en cadmium dans les végétaux	31
6. Suivi de la qualité de l'air	35
6.1. Evolution des concentrations atmosphériques en cadmium autour du site de TLM	35
6.2. Comparaison avec les niveaux mesurés sur des sites a priori non-exposés de la ville de Marseille	38
7. Caractérisation de la zone témoin de l'étude épidémiologique	38
8. Résultats du plan de dépollution	39
8.1. Dépollution du site industriel	39
8.2. Remplacement de la terre des jardins	40
8.3. Demandes complémentaires	40

V. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE CHEZ LES ENFANTS 41

1. Description de la population	41
1.1. Taux de participation	41
1.2. Caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, niveau d'études, activités professionnelles)	41
2. Distribution des facteurs de risque dans les populations exposées et non-exposées	43
2.1. Fréquentation de l'école (Tableau 3)	43
2.2. Lieu de résidence (Tableau 3)	43
2.3. Exposition professionnelle et/ou liée aux loisirs des parents (Tableau 3)	43
2.4. Jardin et lieu exposé (Tableau 3)	43
2.5. Comportement mains-bouche (Tableau 3)	44
2.6. Consommation alimentaire de l'enfant et tabagisme passif (Tableau 4)	44
3. Distribution des cadmiuries dans les deux zones	47

4. Analyse univariée des facteurs de variation des cadmiuries	49
4.1. Cadmiuries en fonction des caractéristiques sociodémographiques (sexe, âge, niveau d'études, activité professionnelle)	49
4.2. Cadmiuries en fonction des expositions alimentaires et de la consommation de tabac des parents.....	51
4.3. Caractéristiques d'habitation, de scolarisation et de comportement mains-bouche chez tous les enfants (<i>Tableau 7</i>).....	53
4.4. Caractéristiques d'habitation et de scolarisation chez les enfants de Saint-Louis Gare (<i>Tableau 8</i>).....	55
4.5. Comparaison des cadmiuries en fonction de la zone (analyse univariée)	57
5. Analyse de régression multiple	57
5.1. Ensemble de la population de l'étude	57
5.2. Enfants de l'école Saint-Louis	58
6. Résultats des analyses des RBP chez les enfants.....	59
6.1. Dosages de RBP effectués.....	59
6.2. Moyenne et caractéristiques de la distribution sur l'ensemble de l'échantillon et séparément dans les deux groupes.....	59
6.3. Analyse de corrélation entre la cadmiurie et la RBP.....	61
6.4. Analyses de régression univariées.....	61
6.5. Analyse de régression multiple.....	62
6.6. Discussion.....	63
7. Conclusion.....	64
7.1. Caractéristiques sociodémographiques.....	64
7.2. Facteurs de confusion potentiels	64
7.3. Comparaison exposés/non-exposés.....	65
7.4. Autres constats.....	66

VI. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE CHEZ LES ADULTES

67

1. Description de la population.....	67
1.1. Sujets inclus et exclus	67
1.2. Groupes de personnes inclus	67
1.2.1. Personnel de l'école (n=20)	68
1.2.2. Résidents à Saint-Louis (n=179)	68
1.2.3. Résidents à La Rose (n=108)	69
1.3. Répartition exposés/non-exposés.....	70
2. Description sociodémographique.....	71
3. Etude de facteurs pouvant influencer la cadmiurie indépendamment de TLM	73
3.1. Consommation de tabac.....	73
Tabagisme passif.....	75
3.2. Alimentation et boisson	75
3.3. Profession actuelle et/ou antérieure.....	77
3.4. Loisirs liés à l'utilisation de cadmium.....	78
3.5. Utilisation d'engrais phosphatés.....	79
4. Etude des facteurs susceptibles d'être liés à l'exposition de l'usine TLM	80
4.1. Jardins et consommation de produits issus d'un jardin de la zone exposée.....	80
4.1.1. Données générales sur les caractéristiques liées au jardinage dans les 3 groupes	80

4.1.2.	Consommation de fruits et/ou de légumes selon le profil d'exposition	82
4.1.3.	Consommation de lapins et/ou volailles provenant de la zone exposée	84
4.2.	Activités effectuées à Saint-Louis	84
4.2.1.	Lieu de l'activité actuelle	85
4.2.2.	Activité à l'extérieur de locaux pendant plus de 50 % du temps dans le quartier Saint Louis	86
4.2.3.	Activité antérieure à l'activité actuelle dans le quartier Saint-Louis	86
4.2.4.	Activité actuelle et antérieure dans le quartier Saint-Louis depuis 1980	87
4.3.	Lieu et durée de résidence à Saint-Louis	89
4.3.1.	Lieu de la résidence actuelle	89
4.3.2.	Lieu de la résidence antérieure	92
4.3.3.	Durée de résidence	93
5.	Résumé – comparaison des 3 types de population	93
6.	Etude de la cadmiurie	96
6.1.	Paramètres de distribution / histogramme dans les 2 zones.....	96
6.2.	Description des dépassements de la valeur seuil.....	97
7.	Facteurs liés à la cadmiurie	102
7.1.	Analyse univariée et bivariée.....	102
7.1.1.	Facteurs sociodémographiques	102
7.1.2.	Facteurs pouvant influencer la cadmiurie indépendamment de TLM	104
7.1.3.	Facteurs susceptibles d'être liés à l'exposition aux rejets de l'usine TLM (<i>Tableau 31</i>)	106
7.2.	Analyse multivariée.....	108
7.2.1.	Comparaison entre les groupes exposés et non-exposés	108
7.2.2.	Facteurs de risque de l'exposition chez les résidents de Saint-Louis de la zone exposée	108
8.	Discussion - cadmium TLM chez les adultes	113
8.1.	Biomarqueurs de l'exposition.....	113
8.2.	Niveaux d'exposition.....	114
8.3.	Facteurs de confusion.....	115
8.4.	Facteurs de risque	115
VII.	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	117
1.	Etude environnementale	117
1.1.	Résultats de ces évaluations	117
1.2.	Plan de dépollution.....	118
2.	Etude épidémiologique	118
2.1.	Résultats concernant les enfants.....	118
2.2.	Résultats concernant les adultes.....	119
VIII.	RECOMMANDATIONS DU COMITÉ SCIENTIFIQUE	121
1.	Sur le plan environnemental	121
1.1.	Achèvement de la cartographie des zones devant faire l'objet d'une décontamination	121
1.2.	Suivi de la contamination aérienne en cadmium	122
1.3.	Opérations complémentaires de décontamination	122
2.	Sur le plan du suivi médical	122

2.1. Enfants.....	122
2.2. Adultes.....	122
3. Information du public et des professionnels de santé	123

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

ANNEXE 1 : RESULTATS DES ANALYSES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS ET DE POUSSIERES QUARTIER SAINT-LOUIS – MARSEILLE

ANNEXE 2 : ANALYSES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS DE SURFACE – QUARTIER SAINT-LOUIS – MARSEILLE

ANNEXE 3 : RESULTATS DES ANALYSES SUR LES ECHANTILLONS DE VEGETAUX, QUARTIER SAINT-LOUIS – MARSEILLE

ANNEXE 4 : VALEURS REGLEMENTAIRES ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

ANNEXE 5 : CADMIURIES CHEZ LES ADULTES

ANNEXE 6 : QUESTIONNAIRES ENFANTS ET ADULTES

ANNEXE 7 : FEUILLES DE CONSENTEMENT ET COURRIERS DES RESULTATS ADRESSES AUX FAMILLES ET AUX MEDECINS

I. Problématique et contexte

L'entreprise Tréfileries et Laminoirs de la Méditerranée (TLM), implantée dans le XV^{ème} arrondissement de Marseille, fabrique depuis plusieurs dizaines d'années des fils d'alliage cuivre-cadmium, utilisés pour l'équipement des caténares ferroviaires. Ce site industriel est situé à moins de 50 mètres d'une école.

1. La découverte d'une pollution atmosphérique au cadmium

Dans le cadre d'un programme national pilote, coordonné par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le Laboratoire Central de la Qualité de l'Air, portant sur les métaux lourds particuliers, une étude a été engagée en Mai 1999 par le réseau de mesures de la qualité de l'air AIRMARAIX, en collaboration avec le CEREGE, sur la mesure du plomb, du cadmium et du nickel.

Le capteur utilisé est situé dans l'école jouxtant l'entreprise TLM. Les premiers résultats, disponibles en Août 1999, ont montré une concentration moyenne journalière en cadmium très élevée (650 ng/m³) avec des pics pouvant atteindre jusqu'à 5 000 ng/m³ (la valeur guide annuelle recommandée par l'OMS étant fixée à 5 ng/m³).

2. Bilan des données disponibles

La Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (D.R.I.R.E.) a estimé les rejets atmosphériques de cette entreprise. Ils ont été importants dans le passé avec des émissions de l'ordre de 300 grammes par jour de cadmium, contre 40 grammes par jour début 1999.

A l'intérieur de l'entreprise TLM, le service de contrôle des nuisances professionnelles de la Caisse Régionale d'Assurance Maladie du Sud-Est (CRAM) a mesuré des concentrations historiques en cadmium très élevées avec des mesures atteignant près de 40 fois la V.M.E. (V.M.E. = Valeur limite de Moyenne d'Exposition sur 8 heures = 50 µg de cadmium/m³ = 50 000 ng/m³).

3. Evaluation sommaire des risques sanitaires

A partir de la modélisation de la pollution atmosphérique autour de ce site industriel et des premières mesures des concentrations en cadmium dans l'environnement (sols, végétaux), une évaluation des risques sanitaires a été réalisée. Les résultats de cette évaluation (INERIS 1999) laissent supposer que certains sous-groupes de la population générale peuvent être notablement imprégnés par le cadmium. Ils justifient la mise en place d'une étude toxicologique-épidémiologique d'imprégnation par le cadmium auprès de la population générale et des enfants de l'école du quartier Saint-Louis à Marseille.

4. Contexte social

Il existe une forte préoccupation des habitants des quartiers des XV^{ème} et XVI^{ème} arrondissements de Marseille en raison de sources de pollution suspectées dans leur environnement (anciennes friches industrielles).

La population du XV^{ème} arrondissement de Marseille comptait 71 000 habitants environ en 1999 et celle du XVI^{ème} arrondissement 16 600 habitants (INSEE Recensement de la Population 1999).

II. Etat des connaissances sur les effets du cadmium

1. Le Cadmium : un toxique cumulatif

Le cadmium, observé en concentration anormale dans différents milieux environnementaux, peut pénétrer dans l'organisme par des voies d'exposition différentes : voie respiratoire (inhalation de poussières) et chaîne alimentaire. En population non professionnelle, la voie d'exposition prépondérante habituelle est l'alimentation. Les principales voies d'imprégnation habituelles pour l'ensemble de la population française sont l'alimentation et le tabagisme.

Sur le plan sanitaire, le cadmium s'accumule dans l'organisme sur plusieurs dizaines d'années, notamment dans les reins. En milieu non professionnel, après des expositions prolongées (30 ans), les principales atteintes possibles sont des lésions rénales [Bernard, 1992 ; DGS, 1996 ; DGS, 1995 ; OMS, 1994 ; WHO, 1992 ; Viala, 1998 ; Burtin, 1994]. Autour du site de l'entreprise TLM, le cadmium contenu dans l'air et les poussières d'origine industrielle vient s'ajouter aux sources habituelles d'exposition de la population.

Le rein est le principal organe cible de la toxicité du cadmium. Habituellement, pour la population générale, les concentrations critiques dans le cortex rénal (dose interne induisant des altérations rénales) ne peuvent être atteintes qu'après des expositions au cadmium importantes et cumulées sur plusieurs dizaines d'années. Un indicateur de ces atteintes est la présence de protéines de bas poids moléculaire dans les urines.

La **Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire (DHTP)**, qui correspond à l'apport alimentaire en cadmium à ne pas dépasser, est estimée à 7 microgrammes par kilogramme de poids corporel et par semaine [WHO, 1992]. Ceci correspond à une **Dose Journalière Admissible (DJA)** de 60 µg par jour pour un adulte de 60 kg et de 25 µg par jour pour un enfant de 7 à 8 ans (25 kg).

En zone non polluée par le cadmium et chez les non-fumeurs, 90 à 95 % de la charge corporelle de cadmium est constituée par les apports alimentaires. Ces valeurs (DHTP et DJA) à ne pas dépasser ont été calculées en admettant un taux d'absorption de 5 % pour le cadmium d'origine alimentaire et un taux d'excrétion journalière de 0,005 % de la charge corporelle. On admet aussi que 10 % de cette DHTP peut provenir du cadmium présent dans l'eau d'alimentation [DGS, 1996 ; DGS, 1995 ; WHO, 1992 ; Burtin, 1994 ; OMS, 1994]. On admet également que les apports aériens habituels ne contribuent que pour 6 à 8 % de la dose interne. Le taux d'absorption du cadmium par voie aérienne est de 50 %.

La courbe dose-réponse d'Hutton [Hutton, 1983] entre les apports alimentaires quotidiens moyens en cadmium par année et le pourcentage de la population (exposée) qui présente des protéines de faible poids moléculaire dans les urines, permet d'estimer le risque de lésions rénales en fonction de la dose cumulée de cadmium sur plusieurs dizaines d'années.

Ainsi, pour une population exposée pendant 50 ans à des apports alimentaires en cadmium équivalents à 100 µg de cadmium par jour et par personne (soit 1,4 DHTP pour un adulte de 60 kg), la concentration moyenne observée dans les reins au terme de l'exposition s'élève à 50 milligrammes par kilogramme de cortex rénal [DGS, 1996]. A cette concentration, Hutton et al. estiment que 2 % de la population présente des lésions rénales, attestées par la présence dans les urines de protéines de faible poids moléculaire [DGS, 1996].

Pour une concentration rénale de cadmium de 200 mg/kg dans le cortex rénal, 15 % de la population présente des lésions rénales. Cette concentration dans le rein est atteinte pour un apport alimentaire quotidien de 175 µg par personne (adulte de 60 kg) pendant 50 ans (soit 3 DJA ou DHTP) [OMS, 1994 ; WHO, 1992].

Chez les fumeurs (20 cigarettes/jour), les apports quotidiens provenant du tabac varient de 1 à 6 µg par jour, dont 50 % sont absorbés par inhalation. Cela correspond à une incorporation quotidienne (dose interne) de 1 à 3 µg de cadmium. Ainsi les fumeurs, vivant en zone non polluée par le cadmium, sont susceptibles de présenter des charges corporelles en cadmium égales au double de celles des non-fumeurs [WHO, 1992 ; Burtin, 1994].

2. Les indicateurs biologiques d'exposition et d'effet du cadmium disponibles

Le cadmium peut être dosé chez l'homme dans les cheveux, le sang et les urines. Les effets toxiques du cadmium sur les reins peuvent être détectés par la présence dans les urines de différentes protéines de bas poids moléculaire.

2.1. Cadmium dans les cheveux

Les cheveux retiennent le cadmium pendant leur croissance en raison de leur forte teneur en kératine comprenant des ponts soufrés. La concentration capillaire de cadmium constitue un bon indicateur de l'exposition passée au cadmium en l'absence de contamination externe des cheveux (et surtout dans un cadre de recherche) [Wilhelm, 1990 ; Wilhelm, 1994 ; Chlopicka, 1995]. Dans le cas contraire, il est difficile de différencier ce qui est incorporé au cheveu de ce qui est seulement déposé à sa surface [Nishiyama, 1972] ; en effet, il n'existe pas de méthode efficace et validée permettant d'éliminer les dépôts externes.

2.2. Cadmium dans le sang

En cas d'exposition modérée à ce métal, la concentration sanguine de cadmium reflète principalement l'exposition des derniers mois [Lauwerys, 1979]. Quand l'exposition est faible, le cadmium sanguin est un indicateur de la charge corporelle mais il est influencé par le tabagisme de façon importante [Monoia, 1990].

Plusieurs mois après la fin de l'exposition et lorsque la dose cumulée est faible, la concentration sanguine peut être un indicateur adéquat de la dose interne [Hassler, 1983 ; Jarup, 1997] avec les réserves habituelles concernant le tabagisme.

2.3. Cadmium urinaire

En cas d'exposition modérée ou faible au cadmium, la concentration urinaire de cadmium est un bon indicateur de la charge corporelle [Lauwerys, 1979]. En cas de contamination massive, l'excrétion urinaire de cadmium est également influencée par l'exposition actuelle.

La mesure du cadmium urinaire est généralement utilisée comme premier indicateur biologique de l'exposition au cadmium. Lorsque la fonction rénale est normale, c'est un bon indicateur de l'exposition passée mais aussi récente. Cette mesure est cependant influencée par le tabagisme, l'âge, le moment du prélèvement dans la journée (variations circadiennes : taux maximum le matin). Chez les individus non exposés, l'excrétion urinaire est plus élevée chez les fumeurs mais elle est toujours inférieure à 2 µg/g de créatinine. Le cadmium urinaire est généralement exprimé en µg/l rapporté à la créatinine afin de tenir compte de la diurèse. En effet, le recueil des urines de 24 h est très fastidieux, en particulier chez les jeunes enfants. Cependant, il importe d'exclure les valeurs pour lesquelles la créatinine est inférieure à 0,3 g/l ou supérieure à 3 g/l.

La difficulté se pose également pour le choix des valeurs de référence. En fait, en l'absence de données suffisantes relatives à la toxicocinétique et toxicodynamie chez l'enfant, on utilise les valeurs de référence retenues chez l'adulte soit 2 µg/g de créatinine.

Pour l'étude des effets liés à une exposition au cadmium, les relations observées sont généralement mieux corrélées avec le cadmium urinaire qu'avec le cadmium sanguin. Le cadmium urinaire est souvent associé à d'autres indicateurs tels que la Retinol Binding Protein (RBP), l'Alpha1-microglobuline, la β2-microglobuline et la N-Acetyl-beta-Glucosaminidase.

Une étude environnementale en Belgique a montré que lorsque l'excrétion urinaire de cadmium était supérieure à 2 µg/24 h, la probabilité d'observer une altération de la fonction rénale chez les individus adultes concernés était de 10 % [Staessen, 1994].

2.4. Protéines de bas poids moléculaire et enzymes urinaires

Elles sont utilisées pour témoigner de troubles de la fonction rénale. La **b2 microglobuline**, largement utilisée dans les études jusqu'à récemment, s'avère en fait assez instable dans les urines (variation avec le pH).

La **NAG b (N-Acetyl-beta-Glucosaminidase)** et non pas la NAG totale, est un bio-indicateur parmi les plus sensibles puisqu'elle augmente à partir de 1 à 2 µg cadmium par gramme (Cd/g) de créatinine. Cependant sa valeur prédictive d'une altération de la fonction rénale est encore mal connue. Son augmentation avec de faibles concentrations de cadmium pourrait être due à un mécanisme compétitif de captation sans que cela n'indique forcément une altération tubulaire. Son dosage ne se fait pas encore en routine.

La **Retinol Binding Protein (RBP)** est un indicateur assez largement utilisé actuellement. Dans l'étude Cadmibel, le 90^{ème} percentile de la RBP est à 338 µg/24h, ce qui correspond à une concentration de cadmium urinaire égale à 2,87 µg/24h [Buchet, 1990]. Autrement dit, cette valeur de cadmiurie est nécessaire pour observer 10 % de valeur de RBP supérieure à 338 µg/24h. Cependant, les avis divergent sur la valeur à partir de laquelle cet indicateur est prédictif de l'atteinte rénale. Les résultats récents dans la suite de l'étude Cadmibel, indiquent que des valeurs de RBP inférieures à 1000 µg/24h, n'ont pas forcément de pouvoir prédictif sur l'atteinte de la fonction rénale adulte aux taux observés en population générale (chez certains sujets, une RBP autrefois élevée est revenue à la normale) [Staessen, 1994]. Une RBP supérieure à 1000 ou 2000 µg/24h traduit bien une altération rénale. Par contre, en médecine du travail, une valeur de RBP supérieure à 300 µg/24h semble déjà signaler l'apparition de troubles rénaux.

L'**alpha1-microglobuline**, est un indicateur un peu moins spécifique que la RBP.

Les cellules Clara observées chez la femme semblent être un indicateur très sensible et assez prédictif d'un effet. Ce marqueur biologique reste toutefois de l'ordre de la recherche.

III. Matériels et méthodes des évaluations mis en œuvre

Les éléments d'évaluation sommaires du risque ont conduit à considérer qu'un impact sanitaire des rejets atmosphériques en cadmium était possible sur la population du quartier Saint-Louis [INERIS, 1999]. C'est pourquoi, une démarche globale d'évaluation de cet impact sanitaire a été mise en place dans le but d'orienter les mesures de gestion du risque. Un Comité Scientifique a été chargé de conduire cette démarche et de piloter les différentes études et actions réalisées dans ce cadre :

- Etude environnementale visant à préciser les niveaux de contamination des milieux en contact avec la population ;
- Etude épidémiologique visant à préciser l'exposition de la population et les effets sanitaires consécutifs ;
- Etablissement de recommandations en terme de prise en charge sanitaire de la population.

1. Evaluation de la pollution environnementale

1.1. Bilan des données disponibles

A la suite de la constatation de cette pollution atmosphérique au cadmium, la DRIRE a estimé l'importance des rejets de cette entreprise à partir des données d'exploitation dont elle disposait.

1.2. Modélisation des immissions

Afin de réaliser un bilan environnemental, d'évaluer la contamination des sols et des légumes cultivés autour du site industriel et de construire un plan d'échantillonnage le plus précis possible, une modélisation des immissions de l'usine a été réalisée par la société Guigues S.A/EOG [Guigues, 1999].

Le modèle utilisé est un modèle de dispersion atmosphérique des polluants dans l'atmosphère de type gaussien (modèle APC 3-2 d'Aria technologie). Ce modèle permet de réaliser des calculs statistiques à partir d'un fichier météo réel, avec une prise en compte simplifiée du relief.

Les données météorologiques ont été obtenues auprès de la station Météo France de "Marseille Observatoire" sur une période de 5 ans (de Septembre 1994 à Août 1999) correspondant à la période sur laquelle la DRIRE a effectué une estimation des quantités de cadmium rejeté. Le diamètre des particules de cadmium a été considéré comme étant inférieur à 5 μm (cadmium à l'état de gaz). Les flux massiques potentiels de cadmium de TLM ont été calculés à partir de résultats de mesures en ce qui concerne les émissions en cheminées et estimés en ce qui concerne les émissions par les ouvertures du bâtiment,

principalement à partir des concentrations en atmosphère intérieure mesurées par la CRAM Sud-Est dans le hall de fabrication (en Janvier et Décembre 1998).

Les sources d'émissions (cheminées + bâtiments) ont été considérées constantes sur 11 mois de l'année (arrêt des installations au mois d'Août).

1.3. Mise en place d'un diagnostic environnemental

A la suite de l'évaluation des rejets atmosphériques et de la modélisation, un diagnostic environnemental a été mis en place. Il comportait la mesure de la contamination des sols et poussières ainsi que celle des fruits et légumes. Un suivi de la qualité de l'air a également été mis en place.

L'objectif des deux premiers volets étant de limiter l'exposition de la population par ingestion de produits contaminés (apports alimentaires, ingestion de sols et de poussières par les enfants), une évaluation des risques sanitaires a été demandée au préalable à l'INERIS pour déterminer à partir de quel seuil de pollution au cadmium une dépollution des sols s'avérerait nécessaire.

Le troisième volet devait permettre de suivre l'impact au niveau de la qualité de l'air des différentes mesures prises au niveau de l'entreprise.

Enfin, ces mêmes études ont été réalisées sur une zone non-exposée aux rejets de TLM, qui a aussi été choisie comme zone témoin pour l'étude épidémiologique.

1.4. Evaluation des risques sanitaires

A la demande de la DRIRE et sur la base des premiers résultats des prélèvements de sols et végétaux, l'INERIS a réalisé une évaluation sommaire des risques pour la santé liés aux sols pollués par le cadmium pour les populations vivant à proximité du site TLM. La population cible était celle des enfants et adultes vivant dans la zone délimitée par ATOS Environnement comme ayant été contaminé par un dépôt atmosphérique de cadmium. En se plaçant dans la situation actuelle (plus de rejets atmosphériques de cadmium), les voies d'exposition considérées sont :

- L'absorption cutanée à partir des sols et poussières,
- L'inhalation des poussières issues du sol,
- L'ingestion de particules des sols et de poussières,
- L'ingestion de fruits et légumes auto-produits.

La contamination des produits végétaux a été calculée à partir de facteurs de bioconcentrations de la littérature [INERIS, 1999].

1.5. Caractérisation du transfert du cadmium dans les sols

Une analyse des profils des sols du quartier Saint-Louis a été demandée au CEREGE. Plusieurs situations ont été étudiées : jardin gazonné, potager, allée, friche.

Les prélèvements ont été réalisés tous les 10 cm jusqu'à des profondeurs de 70 à 90 cm sur 4 sites différents [CEREGE, 2000].

1.6. Campagne de prélèvements et d'analyses de poussières, de sols et de légumes

La campagne de prélèvements de poussières, de sols et de légumes a été conduite par la société ATOS, dans les écoles, les jardins publics ainsi que dans les jardins potagers privés et ouvriers du quartier Saint Louis. L'analyse des concentrations en cadmium, dans ces prélèvements, a été réalisée par le laboratoire d'analyse des Fraudes de Bordeaux. Les prélèvements ont été réalisés sur la base des résultats des travaux de modélisation du panache de TLM, restitués par Guigues/EOG en Octobre et Novembre 1999 [Guigues, 1999]. L'échantillonnage des sols a été effectué à des profondeurs comprises entre 0 et 70 centimètres. Les poussières ont été prélevées sur les sols et sur les végétaux.

1.7. Suivi de la qualité de l'air

Depuis le 8 Mai 1999, AIMARAIX a mis en place un site de prélèvement d'air près du site de TLM dans le but de mesurer les teneurs en métaux lourds (Plomb, Cadmium, Nickel) dans l'atmosphère [AIRMARAIX, 2001]. Afin d'apporter une expertise plus complète sur les résultats, le cuivre a également été recherché dans le but de caractériser la source industrielle locale.

Les prélèvements de particules ont été réalisés à l'aide d'un Partisol Plus, sur des filtres Téflon. La configuration de l'appareil permet de sélectionner les particules inférieures à 10 µm (PM10, fraction thoracique). Les périodes de prélèvements étaient de 24 heures entre le 8 Mai 1999 et Juin 2000 et de 48 heures par la suite. La pesée et l'analyse des filtres ont été réalisées par le CEREGE.

La méthodologie analytique a été établie au niveau national en concertation avec l'Ecole des Mines de Douai.

Par ailleurs, des prélèvements ont été effectués avec des impacteurs en cascade en collaboration avec le Laboratoire d'Etude des Echanges Particulaires aux Interfaces (LEPI - Université de Toulon et du Var) sur le site de TLM afin d'évaluer la répartition du cadmium suivant la granulométrie. Les résultats indiquent des niveaux de cadmium plus importants sur les fines particules (fraction de 1-2 µm, fraction alvéolaire),

–Un Partisol Plus mobile (préleveur) a été utilisé pour effectuer des prélèvements de particules dans Marseille sur différents sites (La Rose Castor, Rabatau, Cinq Avenues et Timone) à des fins de comparaison. Ces sites ont fait l'objet de deux séries de prélèvements pendant un mois en période d'hiver et en période d'été.

Des campagnes de mesures temporaires ont été réalisées pendant des périodes distinctes (entre Mars et Juin 2000) avec un Partisol Plus mobile sur les quartiers de La Rose, Rabatau et Cinq Avenues dans le but d'évaluer le niveau de pollution de fond de la ville en métaux lourds ciblés par la directive européenne de Septembre 1999 (et en particulier le cadmium), hors influence industrielle.

1.8. Caractérisation d'une zone témoin

1.8.1. Teneurs en cadmium dans les sols

Des prélèvements de sols ont été réalisés par le CEREGE dans la zone choisie comme témoin dans l'étude épidémiologique (voir plus loin) afin de vérifier qu'elle était effectivement non-exposée au cadmium.

1.8.2. Teneurs en cadmium dans l'atmosphère

La campagne de mesures réalisée par AIRMARAIX à l'aide du Partisol Plus mobile avait également comme objectif de vérifier que le quartier de La Rose n'était pas exposé à une source locale de cadmium et qu'il pouvait donc constituer une zone témoin pour l'étude épidémiologique.

1.9. Plan d'action environnemental

Sur les bases des études réalisées et des recommandations de l'INERIS, la DRIRE a présenté un plan d'action environnemental, validé par le groupe "Diagnostic environnemental". Il a ensuite fait l'objet d'un arrêté préfectoral, le 13 avril 2000. Ce plan comprenait :

- Une campagne de prélèvements de sols et de poussières permettant d'obtenir une cartographie plus fine de la pollution et de lever des problèmes d'hétérogénéité de certaines zones de prélèvements ;
- Un plan de dépollution concernant une zone située à moins de 200 mètres de TLM, résumé dans le tableau 8 afin de limiter l'exposition des populations à des niveaux de cadmium ne devant pas induire d'effets toxiques, y compris chez les enfants ;
- Un plan de dépollution du site industriel de TLM (*tableau 1*).

Tableau 1. Plan de dépollution environnementale (200 mètres autour de TLM)

Type de zone	Actions
Zone à vocation industrielle	Excavation de toute la terre si Cd > 20 mg/kg* Remplacement par de la terre végétale
Zone à vocation résidentielle (sauf potagers et jardins d'agrément)	Excavation de toute la terre si Cd > 3 mg/kg Remplacement par de la terre végétale
Potagers et jardins d'agrément	Excavation de la terre sur une profondeur de 50 cm au moins avec pour cible Cd < 3 mg/kg Remplacement par de la terre végétale

Source : DRIRE Paca

* Cd : Concentration en cadmium

Suivant les résultats de l'étude épidémiologique, la dépollution des jardins potagers pourrait, par la suite, être complétée.

2. Etude épidémiologique d'imprégnation

2.1. Justification

Le cadmium est un toxique cumulatif dont les effets essentiellement rénaux ne sont habituellement détectables que chez l'adulte à un âge avancé. Les enfants ne représentent pas la classe de population la plus à risque. Cependant les enfants du quartier Saint-Louis étaient susceptibles d'être imprégnés anormalement en raison de la présence passée de cette source de pollution au cadmium par voie aérienne.

Les éléments d'évaluation sommaire du risque étaient de nature à faire craindre une "surimprégnation" de la partie de la population la plus exposée au cadmium, notamment des consommateurs réguliers de légumes et de fruits cultivés dans les jardins contaminés mais également des personnes exposées par voie aérienne depuis de nombreuses années (15 ans). Bien que ne faisant pas partie des populations à risque habituelles, les enfants de l'école contiguë à l'entreprise TLM étaient susceptibles d'être imprégnés anormalement.

2.2. Objectifs de l'étude

Dans le cadre d'une évaluation de l'impact sanitaire de ces rejets atmosphériques en cadmium sur la population générale résidant autour du site, une enquête épidémiologique d'imprégnation a été mise en place pour répondre à la question : « Existe-t-il une surimprégnation en cadmium de la population résidant autour de ce site industriel faisant craindre la survenue de risques sanitaires ? ».

Plus précisément, l'**objectif principal** de cette étude est :

D'estimer les niveaux moyens de cadmium au sein de la population la plus exposée, résultant de l'exposition actuelle et passée et les comparer aux niveaux moyens d'une population non-exposée.

Les **objectifs secondaires** de cette étude sont :

- De rechercher l'existence d'une hétérogénéité de ces niveaux d'imprégnation, dans cette population la plus exposée, c'est-à-dire l'identification des sous-groupes d'exposition les plus imprégnés ;
- D'estimer le pourcentage de la population pour lequel le biomarqueur d'exposition dépasse une valeur de référence.

2.3. Type d'enquête

Il s'agit d'une **enquête épidémiologique transversale de type exposé non-exposé** destinée à évaluer l'importance de l'imprégnation de la population du quartier Saint-Louis au cadmium rejeté par l'entreprise TLM.

Pour les enfants, elle a été réalisée auprès des enfants de l'école Saint-Louis Gare jouxtant l'usine qui ont été comparés à des enfants de même âge d'une zone témoin.

Pour les adultes, l'étude a été réalisée sur un échantillon de la population résidant autour du site, sélectionnée sur des critères d'exposition forte au cadmium, notamment, le temps de résidence et la proximité du site TLM et la consommation de légumes et de fruits produits localement.

Elle comprend des prélèvements biologiques urinaires pour le dosage de cadmium et de protéines de bas poids moléculaire en cas de dépassement de la valeur de référence. Un questionnaire a été utilisé pour relever différents facteurs de risque relatifs aux caractéristiques personnelles des sujets, à leur lieu de résidence et de scolarité, aux habitudes alimentaires et de boissons, au tabagisme, à l'exposition professionnelle des parents, etc...

2.4. Choix de l'indicateur biologique d'exposition et d'effet

L'enquête a fait appel au dosage des biomarqueurs d'exposition actuelle et passée et d'effets au cadmium. L'estimation de l'exposition et des effets doit répondre à plusieurs impératifs : la pertinence de l'information fournie, des considérations d'ordre technique telles que la facilité de l'accès au matériel biologique et la faisabilité de l'analyse chimique à l'échelle d'une population.

Dans la situation d'une contamination atmosphérique de cadmium, la concentration capillaire de cadmium ne constitue pas un indicateur biologique pertinent en raison de la possible contamination externe du cheveu.

Il s'avère que l'exposition massive récente a cessé depuis plusieurs mois, puisque l'entreprise n'émet plus de Cd depuis le mois de Juillet 1999 et que les enfants étaient alors en vacances. Depuis, la cour de l'école a été passée au nettoyeur à haute pression. Le cadmium sanguin, indicateur d'exposition récente, n'a donc pas paru dans le cadre de cette étude comme le plus pertinent.

Le cadmium urinaire étant classiquement utilisé chez l'adulte, la pertinence d'utiliser cet indicateur chez l'enfant s'est posée. Après avis pris auprès d'experts belges du laboratoire du Pr Lauwerys (Pr Bernard et Pr Lison de Bruxelles), il ressort que les enfants ne sont pas considérés comme une population à risque, en raison de l'accumulation de cadmium sur une période trop courte. Les effets chez l'adulte sont habituellement observés après des expositions de plusieurs années, voire des dizaines d'années. C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles il y a très peu d'études chez l'enfant. Cependant, on peut supposer que le rein est possiblement plus fragile chez l'enfant.

La difficulté s'est posée également pour le choix des valeurs de référence. En fait, en l'absence de données suffisantes relatives à la toxicocinétique et toxicodynamie chez l'enfant, on a utilisé les valeurs retenues chez l'adulte soit 2 µg/g de créatinine.

De plus, il est conseillé d'éviter de doser le cadmium urinaire chez l'enfant pendant la période pubertaire au cours de laquelle on observe de fortes variations physiologiques.

La mesure de l'excrétion urinaire de cadmium (cadmiurie rapportée à celle de la créatinine) constitue un bon indicateur de la charge corporelle chez les individus adultes exposés. Des études épidémiologiques ont montré, qu'en population générale, la cadmiurie était bien corrélée aux niveaux de pollution environnementale par le cadmium. Chez les enfants, si beaucoup d'incertitudes demeurent, l'indicateur disponible et le plus adéquat dans le contexte actuel s'est avéré être également le cadmium urinaire. En ce qui concerne l'indicateur biologique d'effet, la RBP urinaire a été retenue.

2.5. Population d'étude

2.5.1. Choix de la population d'étude

La zone d'étude a été définie à partir de la modélisation des rejets atmosphériques de l'usine (courbe d'isoconcentration de 20 ng/m³) et de prélèvements de végétaux et de sols (*figure 1*).

Au lieu de conduire l'étude auprès de l'ensemble de la population située dans la zone d'étude, la poursuite de l'objectif principal défini précédemment nous a amené à sélectionner la population la plus à risque en tant que population d'étude.

L'avantage principal de cette démarche réside dans son aptitude à mettre en évidence un éventuel excès. En effet, si la population d'étude était celle de toute la zone, le pourcentage de personnes présentant une exposition significative serait peut-être trop faible pour indiquer la présence d'un excès, alors qu'une frange de la population est particulièrement touchée. En sélectionnant la population sur son exposition potentielle, il est plus facile de mettre en évidence un excès qui existerait dans un ou plusieurs sous groupes.

A contrario, si aucun excès d'imprégnation n'est observé, les résultats seront alors extrapolables à l'ensemble de la zone.

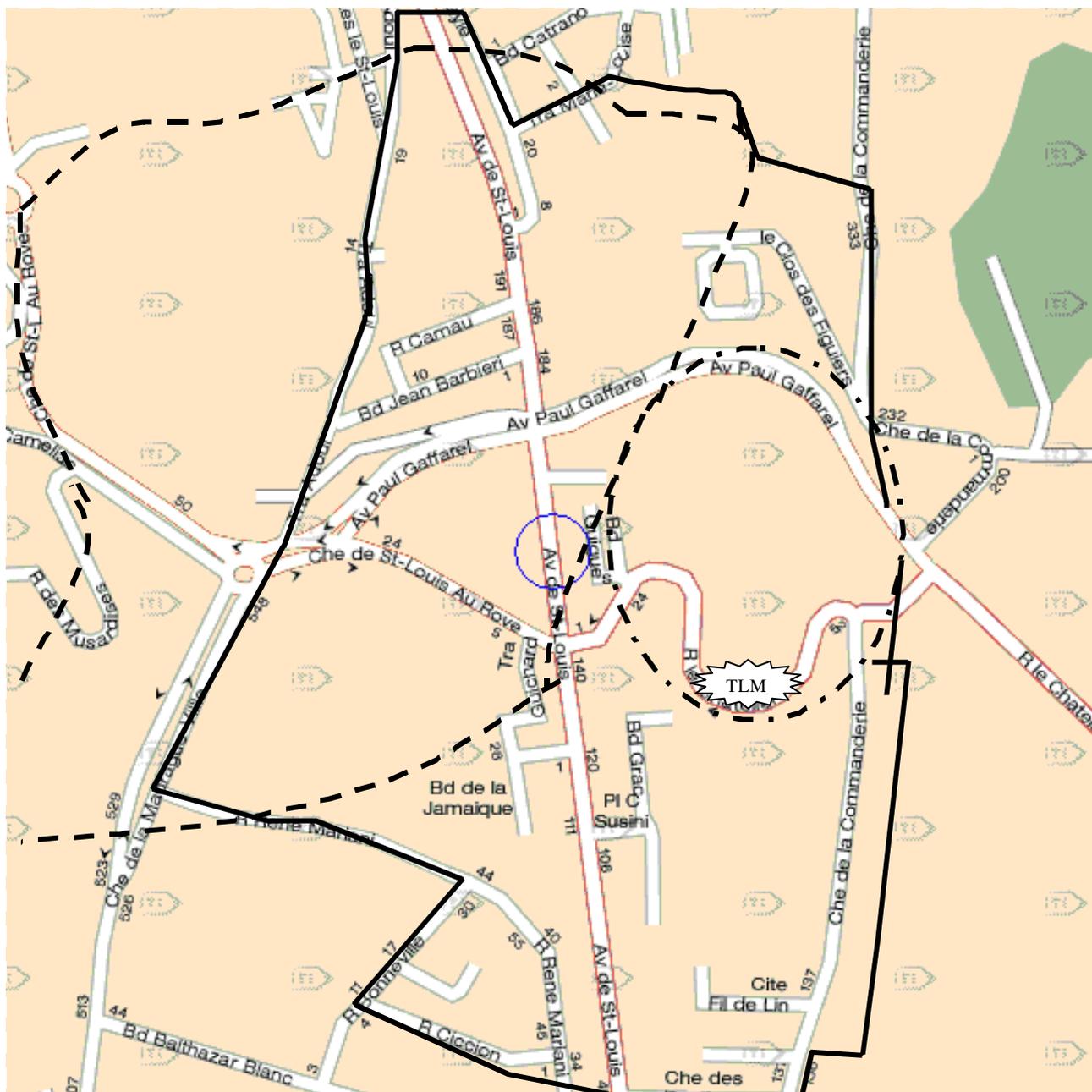
La population la plus à risque est celle qui réside depuis plusieurs années dans la zone d'étude (délimitée par la courbe d'isoconcentration de 20 ng/m³ réajustée par des prélèvements environnementaux) et qui est la plus âgée. Elle l'est d'autant plus si elle consomme des produits de son jardin potentiellement contaminés.

2.5.2. Définition de la population

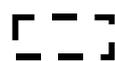
Deux groupes de population étaient susceptibles de présenter une exposition au cadmium :

- 1) Les enfants fréquentant l'école Saint-Louis jouxtant le site industriel ;
- 2) Les adultes :
 - Résidant depuis plusieurs années dans la zone d'étude, ayant atteint un certain âge ;
 - Les personnes résidant dans la zone d'étude et consommatrices de légumes issus de leur jardin potager ;
 - Le personnel de l'école.

Les populations exposées professionnellement au cadmium ont été exclues du champ de l'étude car elles font l'objet d'un suivi spécifique par la médecine du travail.




 Usine TLM
 20 ng/m³


 Zone >


 Zone d'incertitude pour la modélisation


 d'étude

Figure 1. Délimitation de la zone d'étude à partir de la modélisation et des mesures de la contamination environnementale

Enfants

L'école Saint Louis, rue Chatelier, qui jouxte le site TLM dans le quartier du XV^{ème} arrondissement de Marseille, regroupe des classes de maternelles et de primaires. Elle comprend environ 150 enfants âgés d'environ 3 à 11 ans, qui ont pu être exposés aux rejets atmosphériques de cadmium pendant une période maximale de 8 ans.

Même si les enfants ne sont pas classiquement considérés comme des populations à risque vis-à-vis des effets du cadmium (en raison de la courte période d'accumulation), l'inclusion des enfants de l'école dans l'étude s'est voulue exhaustive. En effet, les enfants les plus âgés fréquentant l'école depuis la maternelle ont subi une exposition plus longue et les plus jeunes ont pu s'exposer de façon importante aux poussières contaminées par le port fréquent des mains à la bouche. La proximité de l'école au site TLM justifie que tous les enfants puissent faire l'objet d'une recherche d'exposition.

L'inclusion a porté sur les enfants d'au moins 3 ans pour l'obtention des prélèvements urinaires.

Adultes

Les adultes constituent une population particulièrement à risque des effets du cadmium en raison de sa longue accumulation dans l'organisme, en particulier au niveau des reins.

La sélection de la population adulte de l'étude a porté sur les sous-groupes les plus exposés de la population environnant le site industriel TLM. La population la plus à risque est celle qui réside dans le quartier Saint-Louis (environ 6 000 habitants) depuis plusieurs années sous le panache de l'usine TLM.

Par ailleurs, les critères d'inclusion ont pris en compte la durée de résidence et l'âge des personnes de l'étude, pour que l'étude porte sur la population la plus à risque de présenter une atteinte rénale. Il a semblé alors raisonnable d'inclure les personnes résidant dans la zone d'étude depuis au moins 10 ans et âgées d'au moins 35 ans. La consommation de fruits et de légumes produits localement étant un facteur de risque supplémentaire, il était souhaitable que les propriétaires des jardins potagers de la zone fassent partie de l'étude.

Le personnel de l'école ayant aussi pu être exposé, il a été également inclus dans l'enquête.

Critères d'exclusion

- Une atteinte rénale ayant des répercussions sur l'excrétion urinaire de cadmium, les personnes diabétiques ou présentant une pathologie rénale patente ont été exclues. Les personnes présentant des hypertensions artérielles ont été exclues de certaines études. Dans la présente étude, dans le cas d'une HTA bien équilibrée, les personnes ont été incluses dans la présente étude ;
- Une activité professionnelle en rapport avec le cadmium et en particulier les employés de TLM au cours des 20 années précédant le début de l'enquête (=150 personnes concernées);
- La présence d'une incontinence urinaire.

La consommation de tabac ne constituait pas un critère d'exclusion. Cependant, dans la mesure où il constitue la source la plus importante de cadmium par voie respiratoire en population générale, ce facteur a été pris en compte dans le calcul du nombre de sujets nécessaires et dans l'analyse des données.

2.6. Modalités de sélection des sujets de l'étude

2.6.1. Enfants

L'inclusion des enfants de l'école devait être exhaustive : il n'y a donc pas eu de sélection d'échantillon. Le seul critère limitant a donc été la volonté de participation des parents. Les enfants étaient au nombre d'environ 150. Nous avons disposé de la liste des élèves des classes de maternelles et de primaires (du CP au CM2) de l'école, présents en Juin 1999. En conséquence, les enfants inscrits en CM2 en 1998-1999 et scolarisés en Septembre 1999 en 6^{ème} ont été inclus ; par contre, les enfants nouvellement inscrits en Septembre 1999 n'ont pas été inclus dans l'enquête.

Les noms, prénoms, âge et sexe des enfants ont été fournis par classe avec les coordonnées des services enseignants et de santé scolaire par les services de l'Inspection Académique.

2.6.2. Adultes

Toutes les personnes composant le personnel de l'école ont été incluses dans l'étude. La liste des personnes propriétaires de jardins potagers a également été constituée en collaboration avec l'Association marseillaise des jardins potagers. Sous réserve qu'elles répondaient au critère d'âge (au moins 35 ans), elles ont été incluses dans l'étude même si elles résidaient depuis moins de 10 ans dans la zone. Le reste de l'échantillon des personnes exposées a été obtenu par un tirage au sort dans une base de sondage reconstituant la population concernée par l'étude, base obtenue avec l'aide des services de la Mairie de Marseille. Dans la mesure du possible, toutes les personnes résidant depuis au moins 10 ans dans la zone d'étude et de plus de 35 ans ont été identifiées dans la base ainsi que leur adresse et numéro de téléphone (pour une prise de contact ultérieure).

2.6.3. Zone témoin et population témoin

L'inclusion dans l'étude d'individus issus d'une zone témoin a permis de comparer les niveaux observés dans la zone exposée à des niveaux de base. Les sujets constituant la population témoin étaient issus d'une zone non-exposée et présentant des caractéristiques sociodémographiques similaires à celles de la population exposée (âge, sexe et dans la mesure du possible niveau socio-économique). La zone témoin retenue est celle du quartier Saint-Jérôme-La Rose situé à Marseille, qui appartient à une zone non polluée par le cadmium et constitue une zone sociodémographiquement comparable. La présence d'un capteur atmosphérique et de prélèvements environnementaux a permis de confirmer l'absence de cadmium.

– Enfants

A l'intérieur de ce quartier se trouve l'école de La Rose Castor, similaire à celle du quartier Saint-Louis (classes maternelles comprenant 195 enfants et classes primaires, niveau socio-économique analogue). Le nombre d'enfants inclus était similaire à celui de l'école du quartier Saint-Louis.

– Adultes

Un échantillon d'adultes témoins a également été constitué dans ce quartier sur la base des mêmes informations démographiques que celles rassemblées pour la population exposée. Les personnes devaient également répondre au critère d'âge « avoir au moins 35 ans » et « une durée de résidence dans le logement d'au moins 5 ans » était souhaitée. En effet , le

critère de résidence a dû être modifié en cours d'étude. Le temps de résidence devait répondre au même critère que celui des résidents de Saint-Louis (durée d'habitation supérieure ou égale à 10 ans). Etant donnée la difficulté rencontrée pour le recrutement des personnes et après s'être assuré qu'il n'y avait pas de différence socio-économique entre les 2 groupes, il a été décidé de réduire ce temps de résidence à 5 ans minimum.

2.6.4. Tirage au sort des individus

Un échantillon de personnes a été tiré au sort parmi les individus adultes identifiés dans la base de sondage, selon un tirage aléatoire à l'aide d'une table au hasard. La fraction de sondage a été fonction du nombre de sujets de l'échantillon et de la base de sondage. Le respect des critères d'inclusion a été vérifié. Une liste complémentaire a été utilisée en cas de refus et de non-respect des critères d'inclusion.

2.6.5. Nombre de sujets nécessaires

Le choix d'un nombre de sujets n'a concerné que les adultes, l'étude étant exhaustive pour les enfants âgés de plus de 3 ans fréquentant l'école en Juin 1999.

Le nombre de sujets a été calculé :

- 1) En fonction de la puissance nécessaire pour mettre en évidence une différence entre les moyennes des cadmiuries dans les deux groupes d'exposition, en tenant compte des variances de la cadmiurie connues dans des études antérieures ;

Mais également,

- 2) En fonction de la précision du pourcentage des personnes susceptibles de présenter un risque de troubles de la fonction rénale, c'est-à-dire présentant une cadmiurie supérieure à $2\mu\text{g}/24\text{ h}$, seuil à partir duquel la présence d'un dysfonctionnement tubulaire est suggérée (cf. protocole).

2.6.6. Moyenne et variance de la cadmiurie

Il n'y avait pas en France de données récentes sur la cadmiurie et donc beaucoup d'incertitudes demeuraient quant aux moyennes et à la précision au sein de divers groupes de population. IL était possible toutefois de se baser grossièrement sur les études conduites récemment par l'InVS à Bourg Fidèle [Ledrans, 1999] et dans la région de Salsigne [Frery, 1997] pour lesquelles des dosages de cadmium urinaire ont été réalisés respectivement chez l'enfant et l'adulte.

A Bourg Fidèle, la moyenne géométrique de la cadmiurie des 84 enfants était de $0,25\ \mu\text{g}/\text{g}$, la moyenne arithmétique de $0,48$ et l'écart-type de $0,54$. A Salsigne la moyenne était de $0,3\ \mu\text{g}/\text{g}$ et l'écart-type était un peu inférieur à celui observé à Bourg Fidèle.

Dans l'étude de Bourg Fidèle (écart-type le plus grand), la précision de la moyenne était d'environ $0,12\ \mu\text{g}$ de Cd/g de créatinine.

2.6.7. Pourcentage des personnes présentant une cadmiurie supérieure à $2\ \mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine

Dans l'étude de Salsigne, moins de 1 % des sujets présentaient une cadmiurie supérieure à $2\ \mu\text{g}/\text{g}$ de créatinine. L'enquête Cadmibel réalisée dans la population générale belge porte néanmoins sur une population plus exposée [Lauwerys, 1991]. Dans cette étude 1699 personnes adultes ont eu un dosage de cadmium urinaire et 10,8 % d'entre elles présentaient des cadmiuries élevées.

Compte tenu des études antérieures et des incertitudes sur les variations attendues de cadmiurie, il a semblé raisonnable de prévoir un échantillon d'environ 300 sujets adultes, se répartissant entre 200 sujets exposés (en raison d'une variance attendue plus importante) et de 100 sujets non-exposés.

Dans l'hypothèse d'une variance des cadmiuries similaires dans les deux populations à celle observée à Bourg Fidèle, on pouvait espérer mettre en évidence une différence de moyennes égale à environ 0,2 µg/g de créatinine avec un risque unilatéral de 5 % et une puissance de 80 % ce qui paraissait satisfaisant.

De plus, le nombre d'individus choisis a été majoré d'environ 1/3 afin de tenir compte des individus ayant des habitudes tabagiques pour lesquels l'étude des facteurs de risque pouvait être difficile.

Au final, les effectifs nécessaires étaient de 260 personnes adultes de la zone exposée et de 130 personnes adultes de la zone non-exposée.

2.7. Déroulement de l'étude, organisation pratique

La coordination de l'étude sur le terrain a été assurée par l'Observatoire Régional de la Santé (ORS), avec l'aide d'une équipe d'enquêteurs.

2.7.1. Enfants

Une fois identifiés, les parents des enfants des écoles concernées ont été invités à participer à une réunion d'information par voie d'affiche et par courrier nominatif dans les écoles de Saint-Louis et de La Rose (17/03/00 et 02/05/00). Une information a été faite dans la Mairie de secteur et dans la presse régionale.

Une équipe constituée d'enquêteurs et d'un coordonnateur, sous la responsabilité du Dr Michel Rotily, a assuré la mise en œuvre de l'étude sur le terrain à partir des locaux de l'Observatoire Régional de la Santé.

Dans chacune des écoles, un local a été mis à disposition des enquêteurs afin de recevoir les parents d'une part, pour leur remettre un flacon et répondre à leurs interrogations et d'autre part, pour récolter les flacons et administrer le questionnaire. Un réfrigérateur a également été installé dans ces locaux pour la conservation des flacons d'urine rapportés par les parents.

Lors de la réunion d'information à l'école ou lors du premier entretien (si le parent n'a pu participer à la réunion), l'enquêteur présentait les modalités de l'enquête puis vérifiait, pour chaque enfant, les critères d'inclusion, obtenait le consentement écrit du parent ou de la personne responsable, notait les coordonnées personnelles ainsi que le nom du médecin traitant, remettait le flacon et précisait les précautions à prendre pour obtenir un recueil exempt de source d'erreur de mesure (urines du matin au réfrigérateur à +4°C, lavage des mains, éviter la consommation de produits de la mer la semaine précédent le prélèvement ...).

Lors du second rendez-vous, l'enquêteur récoltait le flacon d'urine et administrait un questionnaire. Un numéro d'identification était affecté par l'enquêteur à réception du flacon puis reporté sur le questionnaire et sur la fiche nominative de correspondance. Ce numéro comportait un code de sécurité à 4 caractères.

Pour les personnes ne participant pas à l'enquête, les causes de refus ou l'absence de prélèvement (difficulté de prélèvement,...) ont été reportées sur une fiche par l'enquêteur.

2.7.2. Adultes

Une lettre a été adressée par courrier aux ménages (population générale) et personnes (propriétaires de jardins et personnels de l'école) sélectionnés pour l'enquête afin de leur expliquer les motifs. Puis, quelques jours après, les ménages et individus étaient contactés par téléphone afin de les inviter à participer à l'étude, de vérifier les critères d'inclusion, de remplir une fiche de renseignements pour les personnes incluses et prendre deux rendez-vous :

- Lors du premier, la feuille de consentement a été remplie par le participant ; un flacon lui était remis pour le recueil des urines ainsi qu'une notice explicative pour celui-ci ;
- Lors du second rendez-vous, le flacon d'urine était recueilli et stocké dans une glacière pour son transport, les modalités de recueil des urines étaient vérifiées et consignées dans la fiche de renseignements en vérifiant, en particulier, que les urines étaient bien celles du matin et le questionnaire était rempli.

Les flacons d'urine étaient ensuite acheminés vers le Centre d'Investigations Cliniques (CIC) par les enquêteurs, pour être conservés avant expédition au laboratoire.

L'enquête auprès des adultes a été effectuée en deux temps : le premier entre Juin et Juillet 2000 et le second, en raison d'un nombre insuffisant de sujets inclus, entre Octobre et Novembre 2000.

Le questionnaire et le prélèvement étant rendus anonymes par l'utilisation d'un numéro, la partie nominative a été conservée dans un cahier d'enquêtes, remis au médecin de l'ORS. Cela a permis ainsi d'identifier les sujets afin de leur retourner les examens biologiques.

Le recueil des données s'est déroulé auprès des enfants de Mars à Juin 2000 et pour les personnes adultes, il s'est déroulé en trois temps :

- Auprès du personnel de l'école : Mai 2000 ;
- Auprès des propriétaires de jardins potagers : Juin 2000 ;
- En population générale, phase 1 : Juin-Juillet et phase 2 : Octobre-Novembre 2000.

2.8. Questionnaire

Le questionnaire, pour lequel un avis favorable de la CNIL (N°999348) a été obtenu, a permis de recueillir les informations suivantes :

Caractéristiques personnelles : numéro d'identification, date de naissance, sexe, catégorie socioprofessionnelle.

Critères d'inclusion du sujet : critère d'exposition,

- Adulte résidant dans la zone d'étude du quartier Saint-Louis ou du quartier Saint Jérôme-La Rose, âgé d'au moins 35 ans, durée de résidence d'au moins 10 ans ou propriétaire d'un jardin potager ou travaillant à l'école ;
- Enfant scolarisé à l'école du quartier Saint-Louis ou à l'école de La Rose Castor du quartier Saint-Jérôme-La Rose âgé d'au moins 3 ans.

Critères d'exclusion :

- Diabétiques ou ayant une pathologie rénale, une HTA mal équilibrée, (Pathologies sous traitement susceptibles d'interférer avec l'excrétion urinaire des biomarqueurs : pathologies rénales, cardiovasculaires) ;
- Exposé professionnellement au cadmium.

Les facteurs de risque d'exposition et facteurs de confusion :

- Activité professionnelle de l'adulte ou des parents de l'enfant : profession, secteur d'activité, nombre d'années dans le secteur... ;
- Activité de loisirs de l'adulte ou des parents de l'enfant ;
- Consommation tabagique actuelle et passée de la personne elle-même ou de l'entourage pour un enfant ;
- Résidence : localisation sur une carte, durée, type d'habitat... ;
- Habitudes alimentaires : présence d'un jardin potager et consommation de produits de ce jardin, consommation de produits de la mer (crustacés, coquillages), consommation d'abats, consommation de boissons (vin,...).

2.9. Dosages

Les prélèvements d'urine ont été réalisés selon un protocole standardisé après avoir informé les adultes et les parents des enfants participant des précautions à prendre au moment du recueil : urines du matin, stockage au réfrigérateur à +4°C, lavage des mains, éviter la consommation de produits de la mer la semaine précédant le prélèvement. Ils ont été conditionnés dans le matériel fourni par le laboratoire : flacon de 10-15 ml en polystyrène.

Chaque enquêteur a remis au coordinateur ses échantillons accompagnés d'une fiche de transmission. Le coordinateur a été chargé de l'expédition des échantillons vers le laboratoire d'analyse en liaison avec le Centre d'Investigations Cliniques de Sainte-Marguerite (CIC).

Il s'est assuré que chaque flacon de prélèvement portait les informations suivantes :

Dates de prélèvement et d'envoi ;

Numéro d'identification dans l'enquête.

Dans l'attente de l'expédition, les échantillons ont été conservés à une température de +4°C pendant un maximum de 5 jours. Les modalités précises de conservation et de transport ont été arrêtées avec le laboratoire retenu pour l'analyse. Les différents prélèvements ont été groupés et conditionnés dans du matériel isotherme puis expédiés vers le laboratoire d'analyse qui les congèle dès réception.

Les échantillons d'urine ont été congelés à -20°C et conservés au CIC, en vue d'une vérification éventuelle. Tout dosage complémentaire envisagé pour la poursuite de l'enquête fera l'objet d'un nouvel accord des participants à l'étude.

Les flacons d'urine ont ensuite été expédiés vers le laboratoire de l'Unité de Toxicologie Industrielle et Environnementale de la Clinique Universitaire Saint-Luc à Bruxelles, en Belgique.

Le dosage du cadmium a nécessité une minéralisation et une technique par spectrophotométrie d'absorption atomique avec atomisation électronique et correction des interférences spectrales par effet Zeeman (limite de détection du Cd : 0,05 µg/l ; coefficient de variation (CV) inter-essai : 5,7 %). Le Laboratoire participe à de très nombreux contrôles de qualité et constitue parfois le laboratoire de référence.

Les résultats sont exprimés en microgramme de cadmium par gramme de créatinine (µg/g de créatinine), ce qui implique un dosage de la créatinine urinaire, témoin de l'importance de la diurèse.

Des dosages de RBP ont été effectués dans les cas jugés nécessaires (Adultes : cadmiurie supérieure à 2 µg/g de créatinine et pour l'ensemble des enfants chez lesquels on dispose de peu d'informations sanitaires vis-à-vis des effets rénaux du cadmium). La limite de détection de la RBP est de 5 µg/l. Les coefficients de variation sont pour le CV inter-essai de 11,7 %, 7,9 % et 11,5 % (à 18,5 µg/l, 52,4 µg/l et 142 µg/l) et pour le CV intra-essai de 8,5 %, 5,9 % et 9,1 % (à 22,3 µg/l, 54,3 µg/l et 148 µg/l).

2.10. Restitution individuelle des résultats

La restitution individuelle des résultats a été faite en Octobre 2000 par courrier auprès des parents.

Après avis favorable des parents demandé au moment de l'inclusion, le médecin traitant a été informé par l'ORS des résultats biologiques. Les médecins ont été informés au préalable de la mise en place de cette étude et de la signification sanitaire du dosage des biomarqueurs afin d'être en mesure d'expliquer aux parents la signification des résultats et les éventuelles mesures à prendre.

2.11. Analyse statistique

L'analyse des résultats a été mise en œuvre conjointement par l'InVS, l'ORS et la CIRE. Les informations ont été saisies et analysées de façon anonyme par des méthodes statistiques unies et multifactorielles à l'aide des logiciels SAS, S-Plus, SPS7 (tests de Student, Chi2, modèles linaires multiples, modèles additifs généralisés).

Les résultats de l'analyse ont permis de connaître les niveaux d'exposition au cadmium de la population et de les comparer dans les deux zones d'exposition (autour du site de TLM et la zone témoin). Ceci a été rendu possible après l'étude de la comparabilité des deux populations. Les résultats ont également permis d'identifier divers facteurs de risques liés à cette exposition. L'étude du lieu de résidence a été effectuée à l'aide d'un découpage de la zone d'étude en mailles de 130 m de côté.

Les résultats des biomarqueurs d'effets toxiques sur les reins ont permis de connaître le pourcentage de la population la plus exposée susceptible de présenter des troubles de la fonction rénale.

2.12. Aspects éthiques et déontologiques

Une déclaration a été déposée auprès de la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) par l'InVS le 21 Décembre 2000. L'accord a été obtenu le 21 Février 2000. Après avis pris par l'InVS auprès de la Direction Générale de la Santé, il s'avère que cette étude épidémiologique sans prélèvement invasif ne nécessitait pas un recours préalable auprès du Comité Consultatif de Protection des Personnes dans la Recherche Biomédicale (CCPRB).

L'étude a été conduite en respectant les recommandations en matière de déontologie et de bonnes pratiques en épidémiologie [ADELF, 1998].

Un accord écrit de participation à l'enquête a été demandé après une information éclairée (prélèvement biologique et questionnaire).

Le secret médical a été préservé et les informations recueillies resteront confidentielles.

Un fichier informatique constitué des noms, adresses et éventuels numéros de téléphone des parents a été créé afin de réaliser des envois postaux (lettres d'information et relances, remises des résultats). Ces fichiers et les supports informatiques ou papier ayant servi à les constituer (cahiers d'enquêteurs notamment) seront détruits après la fin de l'étude. Toutefois, un délai d'un an sera observé avant la destruction afin de permettre d'engager une éventuelle procédure de contrôle des données.

Toutes les personnes ayant eu connaissance, à un moment donné ou un autre, d'informations à caractère nominatif ont été tenues par leur contrat à la confidentialité. Elles ont été sensibilisées à nouveau pour la réalisation de cette étude. Toutes les données, quels que soient leurs supports, papier ou informatique, sont tenues en lieu sûr. Les ordinateurs traitant ces données sont soit déconnectés du réseau Internet ou Intranet, soit reliés par une liaison spécialisée et protégés par un Firewall. Les ordinateurs sont équipés de mots de passe ; de même, les fichiers sont protégés par un mot de passe. Le nom des personnes utilisant les données sont consignées dans un registre à l'ORS. Aucun fichier à caractère nominatif n'a été transféré via le courrier électronique et Internet. De même, les données transitant par porteur spécial ont été protégées de la meilleure manière.

IV. Résultats de l'évaluation environnementale

1. Bilan des données disponibles

Les rejets de TLM ont été importants dans le passé¹. Entre Novembre 1994 et Janvier 1998, les émissions de cadmium étaient de l'ordre de 300 grammes par jour, contre 40 grammes par jour au début de l'année 1999 (*tableau 1*).

Tableau 1. Émissions atmosphériques de l'usine TLM

Sources émettrices TLM 24h/24h	Données historiques Nov 1994 à Janv 1998	Données actuelles Dec 1998
Cheminées	16 g / jour	3,3 g / jour
Bâtiments	284 g / jour	35 g / jour
Total TLM	300 g / jour	~ 40 g / jour

Il apparaît également que la pollution atmosphérique est principalement d'origine diffuse, les émissions canalisées par les cheminées étant marginales.

2. Modélisation des immissions

Les résultats des travaux de modélisation de Guigues/EOG [Guigues, 1999] ont permis de définir plusieurs courbes d'iso-concentration de 20, 10 et 5 ng de cadmium/m³ d'air ambiant.

Sur la base des rejets historiques (1994 à 1998), la courbe d'iso-concentration de 10 ng/m³ de cadmium délimite une zone exposée d'environ 32 hectares (environ 750 m sur 400 m), située au nord-ouest de TLM, sous l'influence des vents de sud-est (*figure 1*). La courbe d'iso-concentration de 20 ng/m³ de cadmium délimite une zone 2 fois moins étendue, incluse dans la précédente. La zone sous le mistral (vent dominant de nord-ouest), située au sud-est de l'entreprise, serait épargnée du fait du relief favorable (déclivité) et de la meilleure dispersion du polluant dans l'atmosphère.

¹ L'inspection des installations classées a pris en charge cet établissement en 1978. Les premières mesures de cadmium retrouvées dans les archives de la DRIRE datent de 1987.

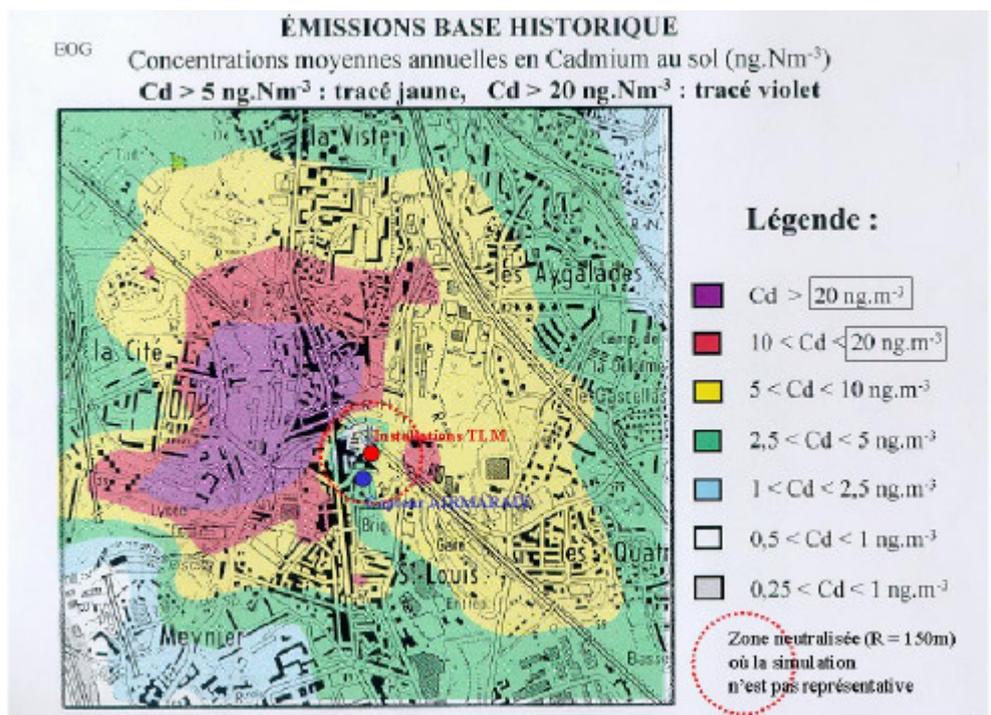


Figure 1. Modélisation des rejets et des dépôts su sol de cadmium [Guigues, 1999]

3. Evaluation des risques sanitaires

En se plaçant dans le cadre d'une approche précautionneuse (utilisation des concentrations maximales de cadmium dans les sols et les poussières), le résultat de l'évaluation des risques sanitaires, réalisée par l'INERIS [INERIS, 1999], montre un indice de risque supérieur à 1 (IR = 1,3) qui indique la possibilité d'apparition d'un effet toxique non cancérigène, la voie d'exposition prépondérante étant la consommation de fruits et légumes auto-produits.

Dans une note complémentaire, l'INERIS recommande :

- Une teneur maximale en cadmium de 3 mg/kg dans le sol des potagers afin d'obtenir un niveau de risque non cancérigène acceptable (IR = 0,86 pour les enfants) ;
- Une dépollution jusqu'à une profondeur de 60 cm (valeur à préciser en fonction des mesures effectuées) ;
- Une teneur maximale en cadmium de 20 mg/kg dans le sol sur site industriel.

4. Caractérisation du transfert du cadmium dans les sols

La campagne de prélèvements du CEREGE [CEREGE, 2000] a porté sur 4 sites de prélèvements. 61 échantillons de sols ont été prélevés dont 20 qui concernaient directement cette étude. Les résultats montrent :

- Des teneurs en surface comprises entre 14 et 60 mg de cadmium/kg de matières sèches ;
- Une diminution rapide des concentrations en cadmium avec la profondeur (*figure 2*) ;
- Une pénétration du cadmium dans les sols plus importante sur les sols travaillés (jardin).

La valeur considérée comme phytotoxique (5 mg/kg de cadmium) est, par ailleurs, atteinte jusqu'à 50 à 60 cm de profondeur.

Cette étude a également permis de montrer que ce sont les fractions de sols les plus fines (< 5 µm) qui sont les plus riches en cadmium et que 40 à 60 % du cadmium trouvé dans les sols se trouve sous une forme facilement mobilisable pour les végétaux.

Outre le cadmium, d'autres métaux ont pu être mesurés à des teneurs significativement élevées, c'est le cas du cuivre, du zinc et du plomb.

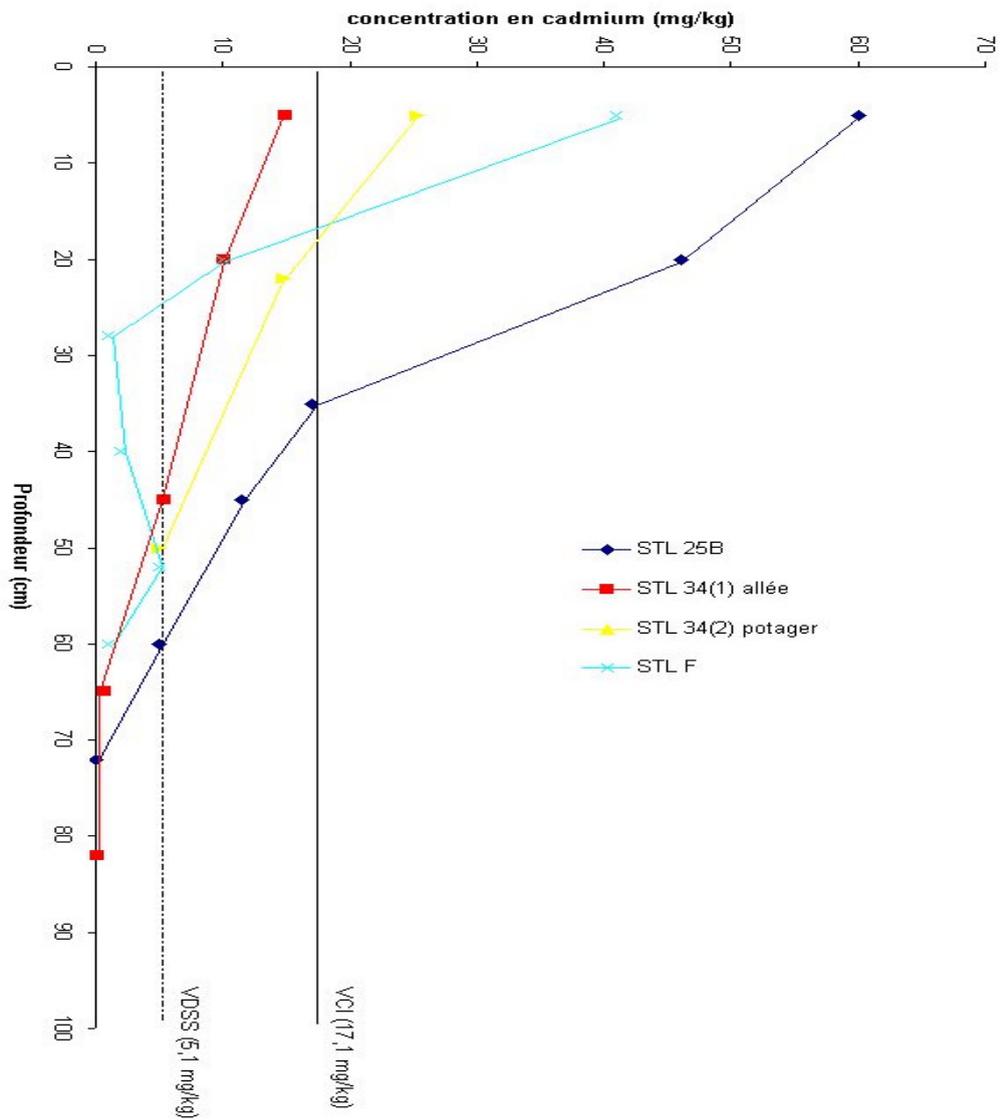


Figure 2. Evolution des teneurs en cadmium dans les sols en fonction de la profondeur
 Source : CEREGE

5. Campagne de prélèvements et d'analyses de poussières, de sols et de légumes

5.1. Sols

L'ensemble des résultats de la campagne réalisée par ATOS Environnement [Guigues SA, 1999] est présenté en Annexe 1.

Le tableau 2 synthétise l'analyse des mesures réalisées dans les échantillons de surface (profondeur comprise entre 0 et 15 cm ou 0 et 25 cm suivant les points de prélèvements).

Tableau 2. Distribution statistique des concentrations en cadmium dans les sols de surface (Mesures ATOS Environnement - 41 prélèvements)

	Cd (mg/kg)
Minimum	0,6
Maximum	83,4
Moyenne	8,2
p5	1
p25	1,4
p50	2,8
p75	6,9
p95	27,4
Ecart-Type	15,51

Parmi ces échantillons de surface, 4 (9,7 %) dépassent la VCI² (17,1 mg/kg) et 15 (36,6 %) dépassent la VDSS² (5,1 mg/kg). En comparaison avec la valeur recommandée par l'INERIS pour la protection de la santé des populations (3 mg/kg), 20 échantillons (48,8 %) dépassent cette valeur.

En ce qui concerne l'évolution des teneurs en cadmium en fonction de la profondeur, on observe des résultats similaires à ceux du CEREGE (*figure 3*). Le nombre d'échantillons présentant des dépassements des valeurs précitées est limité (*tableau 3*).

² Les VCI et VDSS sont respectivement la Valeur de Constat d'Impact et la Valeur de Définition Source-Sol définies dans le guide technique "Gestion des sols (potentiellement) pollués" du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement [MATE, 2000]. Elles permettent respectivement de constater l'impact de la pollution d'un sol et de définir la source de pollution constituée d'un sol.

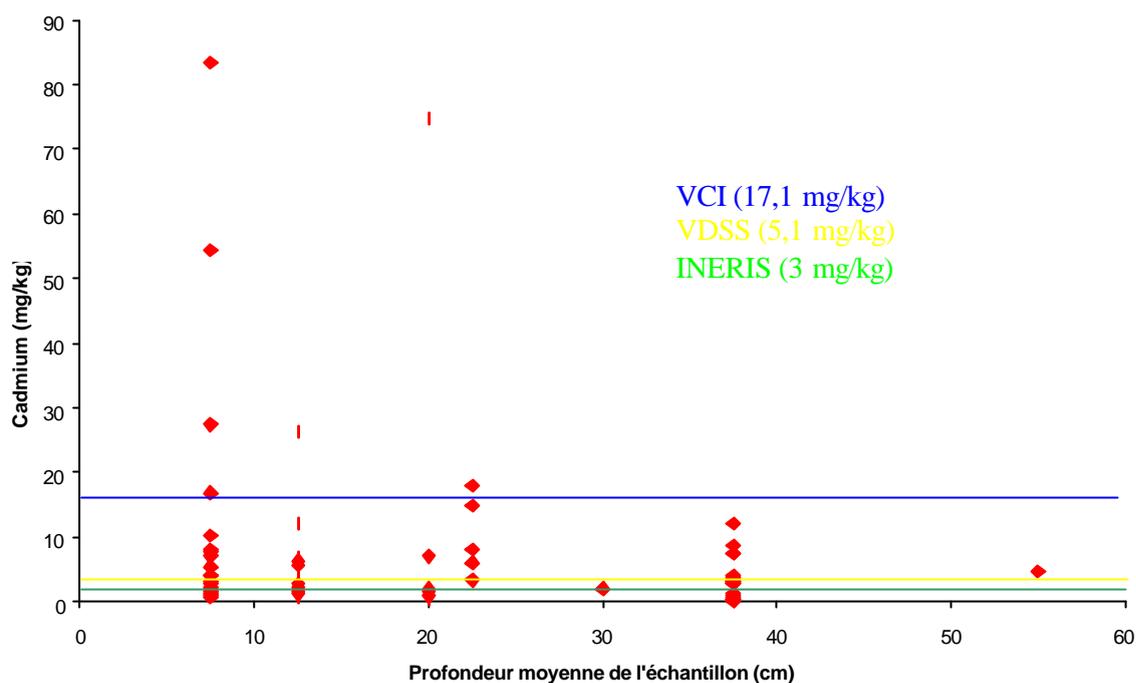


Figure 3. Evolution des concentrations en cadmium dans les sols en fonction de la profondeur (Mesures ATOS Environnement : n = 80)

Habituellement, les valeurs rencontrées sont inférieures à 0,1 mg/kg dans les sols limoneux et à 0,2 mg/kg dans les sols argileux [INERIS, 2000].

Tableau 3. Nombre d'échantillons dépassant les valeurs cibles en fonction de la profondeur (Mesures ATOS Environnement : n = 80)

Prof. moyenne de l'échantillon (cm)	Nombre échantillons	Echantillons >VCI(17,1 mg/kg)		Echantillons > VDSS (5,1 mg/kg)		Echantillons > 3 mg/kg	
7,5	n = 18	3	17 %	9	50 %	12	67 %
12,5	n = 23	1	4 %	6	26 %	8	35 %
20	n = 12	1	8 %	2	17 %	2	17 %
22,5	n = 5	1	20 %	4	80 %	5	100 %
30	n = 1	0	0 %	0	0 %	0	0 %
37,5	n = 20	0	0 %	4	20 %	9	45 %
55	n = 1	0	0 %	0	0 %	1	100 %

La répartition géographique des points de mesures de surface est présentée sur la carte en Annexe 2.

L'analyse de ce document permet d'observer que :

Tous les échantillons supérieurs à la VCI sont dans les premiers 200 mètres autour de l'entreprise TLM ;

- Au nord de l'usine, les concentrations en cadmium des sols diminuent en s'éloignant du site industriel ; aucun prélèvement ne dépassant la recommandation de l'INERIS à partir de 300 mètres ;
- Au sud et à l'ouest du site, cette diminution est moins marquée et la répartition plus aléatoire ; par exemple, l'échantillon n°51, situé à environ 500 mètres de TLM, présente encore une concentration en cadmium de 6,3 mg/kg ;
- Cette répartition ne concorde pas avec les résultats de modélisation de la pollution atmosphérique qui faisait ressortir comme zone la plus exposée la partie située au nord-ouest de TLM.

Il faut toutefois noter une difficulté pour discuter de la distance d'impact sur les sols des rejets de TLM. En effet, les prélèvements ont été réalisés sur des sols dont l'utilisation était différente (potager, parc public, talus, terrain vague, plate-bande ...). L'origine de certains sols n'est, par ailleurs, pas connue. Ils peuvent ainsi avoir été rapportés récemment et donc ne pas avoir été soumis aux dépôts de cadmium sur une période aussi longue que d'autres sols en place depuis le début des rejets.

5.2. Poussières

Concernant les poussières prélevées soit sur les sols, soit sur les végétaux, la distribution statistique des valeurs est présentée dans le tableau 4.

Les teneurs sont beaucoup plus basses que dans les sols. Une seule valeur (3 %) dépasse la VCI, 4 (12,5 %) la VDSS et 7 (21,8 %) la valeur recommandée par l'INERIS. Les poussières peuvent être considérées comme le témoin d'une contamination plus récente que celle des sols (en particulier pour celles mesurées sur les végétaux) et donc de la période comportant des niveaux de rejets atmosphériques moindres.

Tableau 4. Distribution statistique des concentrations en cadmium dans les poussières (Mesures ATOS Environnement : n = 33)

	Cd(mg/kg)
Minimum	0,01
Maximum	51,10
Moyenne	3,13
p 5	0,02
p 25	0,07
p 50	0,80
p 75	2,05
p 95	7,18
Ecart-Type	8,88

p : percentile

La figure 4 montre la répartition des teneurs en cadmium en fonction de la distance à TLM. On peut constater que les dépôts sur les sols sont plus concentrés que les dépôts sur les feuilles, ces derniers étant plus récents.

Il faut atteindre la distance de 600 mètres du site industriel pour que plus aucun dépôt (que ce soit sur les sols ou sur les végétaux) ne dépasse la teneur recommandée par l'INERIS.

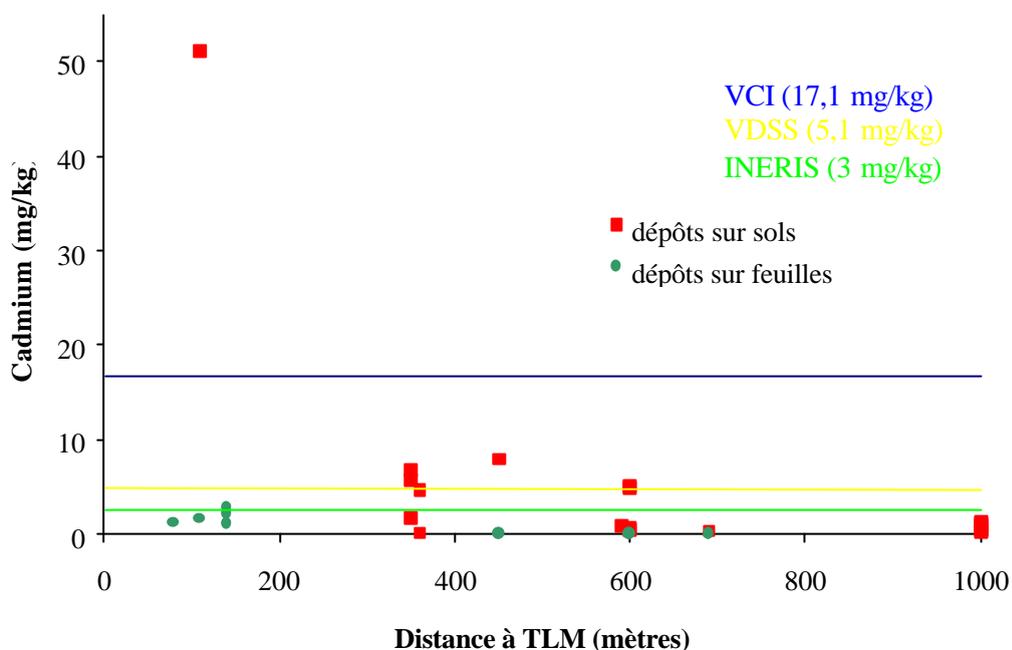


Figure 4. Répartition des teneurs en cadmium dans les dépôts en fonction de la distance à TLM

5.3. Analyse des teneurs en cadmium dans les végétaux

L'ensemble des valeurs mesurées est regroupé dans le tableau en Annexe 3. Au total 79 prélèvements ont été effectués dans 13 potagers.

La distribution des concentrations en cadmium dans les végétaux est indiquée dans le tableau 5.

Tableau 5. Distribution statistique des concentrations en cadmium dans les végétaux (Mesures ATOS Environnement - n = 79)

	Cd ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Minimum	1,5
Maximum	3324,0
Moyenne	197,8
p 5	1,5
p 25	5,1
p 50	21,3
p 75	127,0
p 95	1174,1
Ecart-Type	508,9

p : percentile

L'analyse de ces mesures montre que les teneurs en cadmium varient selon le type de fruits ou de légumes et suivant la distance à la source d'émissions (*figure 5*). Les plantes à feuilles et surtout les plantes aromatiques (ainsi que les champignons) sont les plus concentrées en cadmium. Les maxima rencontrés concernent un échantillon de sauge (3324 $\mu\text{g}/\text{kg}$) et de champignons (2018 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Les fruits et les autres légumes présentent des teneurs plus faibles.

Ainsi, 28,6 % des légumes feuilles (57,1 % si l'on ne considère que les salades) dépassent le seuil de recommandation du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France [CSHPF, 1996] concernant les végétaux (*tableau 6*) contre seulement 26,4 % pour les autres légumes (tous les échantillons de fruits restant sous cette concentration). Ces recommandations du CSHPF ne concernent pas les plantes aromatiques, leur part contributive dans l'alimentation étant très limitée.

Tableau 6. Teneurs maximales en cadmium dans les denrées d'origine végétale (Recommandations CSHPF)

Produits	Teneurs maximales en cadmium ($\mu\text{g}/\text{kg}$ poids frais)
Céréales et produits dérivés	100
Salades, céleris et épinards	200
Autres légumes	100

La Direction Générale de la Santé a réalisé en 1992 une étude sur la contamination des végétaux en métaux lourds sur 14 départements français [DGS, 1995]. Les teneurs moyennes en cadmium retrouvées à cette époque sont regroupées dans le tableau 7.

Tableau 7. Valeurs moyennes des teneurs en cadmium ($\mu\text{g}/\text{kg}$) [DGS, 1995]

Type de produits	Teneurs en cadmium ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Légumes feuilles	27,0
Légumes racines	14,6
Pommes de terre	23,0
Autres légumes	31,9
Fruits	4,27

La comparaison des concentrations mesurées autour du site TLM à ces valeurs montre que ce site industriel a un impact sur les végétaux cultivés dans son environnement proche.

En effet, elles sont dépassées pour :

- 71,4 % (10/14) des légumes feuilles (le maximum étant 45 fois plus élevé) ;
- 75 % (3/4) des légumes racines (le maximum étant 5,5 fois plus élevé) ;
- les 2 échantillons de pommes de terre (le maximum étant 10 fois plus élevé) ;
- 32 % (8/25) des autres légumes (le maximum étant 7 fois plus élevé sans considérer l'échantillon de champignons qui contient 2018 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cadmium) ;
- 46,1 % (6/13) des fruits (le maximum étant 8 fois plus élevé).

Les plantes aromatiques n'ont pas été considérées dans ces calculs.

L'analyse des concentrations en cadmium dans les végétaux en fonction de la distance à la source de pollution montre que celles-ci sont inférieures aux valeurs recommandées par le CSHPF lorsque les échantillons de végétaux proviennent de la zone située au-delà de :

- 400 mètres du site industriel pour les légumes autres que les légumes feuilles ;
- 500 mètres du site industriel pour les légumes feuilles.

Toutefois, l'échantillon de champignons contenant 2018 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de cadmium se situe à 750 mètres au nord-ouest de l'entreprise sur des sols contenant pourtant peu de cadmium (1,5 mg/kg en surface).

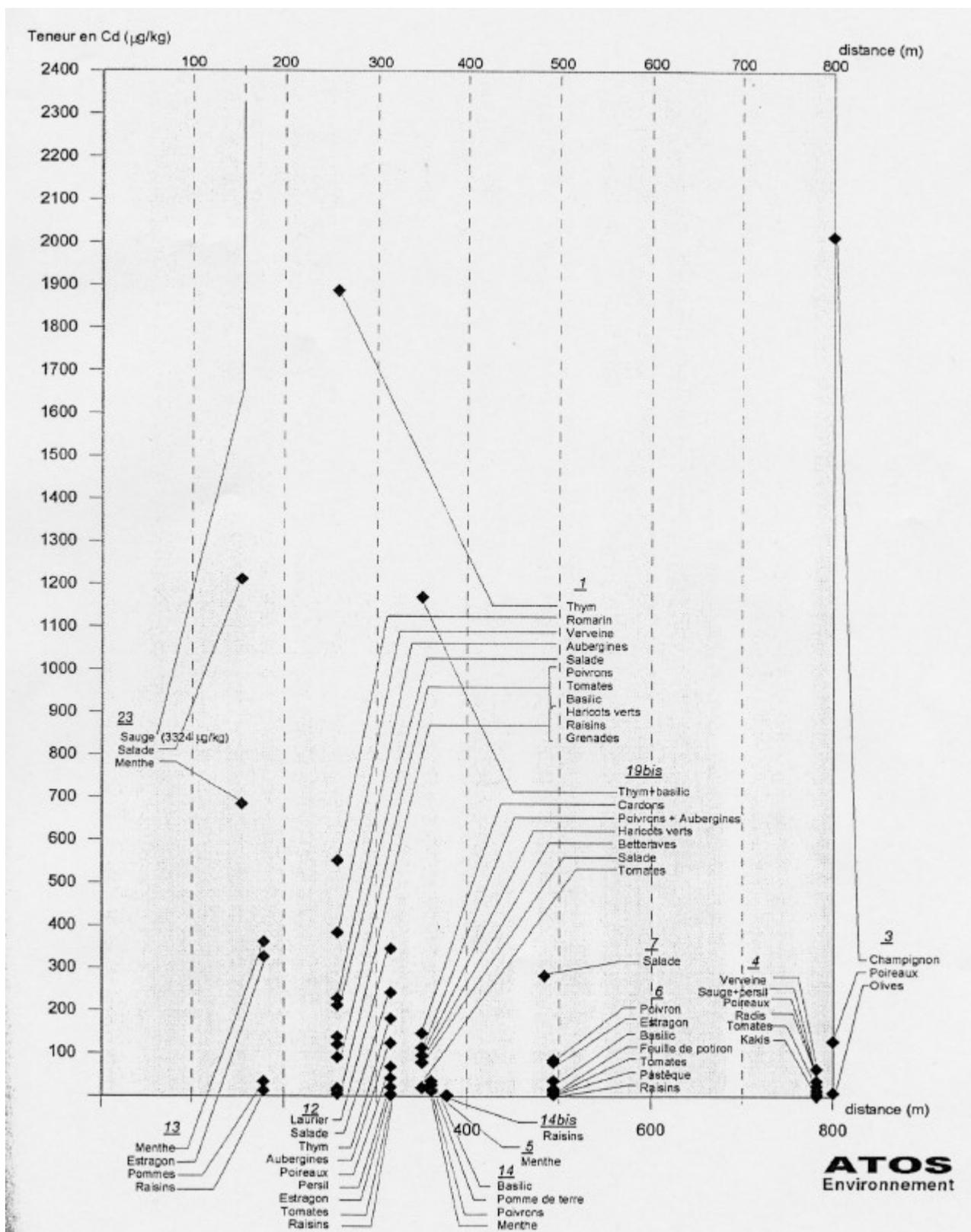


Figure 5. Teneur en cadmium dans les végétaux en fonction de la distance à TLM (79 prélèvements dans 13 potagers)

6. Suivi de la qualité de l'air

6.1. Evolution des concentrations atmosphériques en cadmium autour du site de TLM

Les mesures d'AIRMARAIX [AIRMARAIX, 1999 ; AIRMARAIX, 2000; AIRMARAIX, 2001] montrent que l'évolution des niveaux de cadmium sur le site de Saint-Louis (*figure 6*) se décompose en quatre périodes qui peuvent être reliées à l'activité de l'entreprise TLM :

- De Mai à fin Juillet 1999 : production de l'alliage de Cuivre-Cadmium ;
- Août 1999 : arrêt pour congés annuels ;
- Début Septembre 1999 : reprise ponctuelle et arrêt de la filière cuivre-cadmium ;
- À partir du 5 Septembre 1999 : filière cuivre-cadmium définitivement arrêtée.

Au cours de l'année 1999, la concentration moyenne en cadmium a été divisée par 30 avec l'arrêt de la production de l'alliage Cuivre-Cadmium par TLM (*tableau 8*). Celle-ci est passée de 361 ng/m³ de Mai à Septembre, à 12 ng/m³ à partir du 5 Septembre. Cette concentration restait cependant plus de 2 fois supérieure à la recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé (concentration moyenne annuelle en cadmium < 5 ng/m³).

Au cours de l'année 2000, la concentration moyenne est restée du même ordre de grandeur (11 ng/m³) ; des pointes ponctuelles supérieures à 50 ng/m³ étant encore relevées certains jours (*figure 7*).

Deux hypothèses peuvent expliquer ces niveaux :

- Il s'agit d'envols de particules contenant du cadmium accumulées dans l'environnement autour de l'usine lorsque la filière cadmium fonctionnait ;
- Le cadmium est émis par les activités de l'usine en liaison avec l'imprégnation des infrastructures.

L'analyse des jours les plus pollués, sur la période de Septembre à Novembre 1999, indique que ceux-ci sont plutôt rencontrés en semaine et correspondent à des conditions météorologiques de vents faibles à modérés. Cela semble donc indiquer qu'ils sont surtout liés à l'activité de l'entreprise et que les conditions météorologiques jouent un rôle aggravant (mauvaises conditions de dispersion atmosphérique). Les concentrations peu élevées retrouvées dans les poussières vont également dans ce sens. Elles ne peuvent expliquer à elles seules de tels pics de pollution. Cette hypothèse sera confirmée par la suite. Depuis le 1^{er} Décembre 2000, les niveaux moyens sont toujours restés sous la barre des 5 ng/m³.

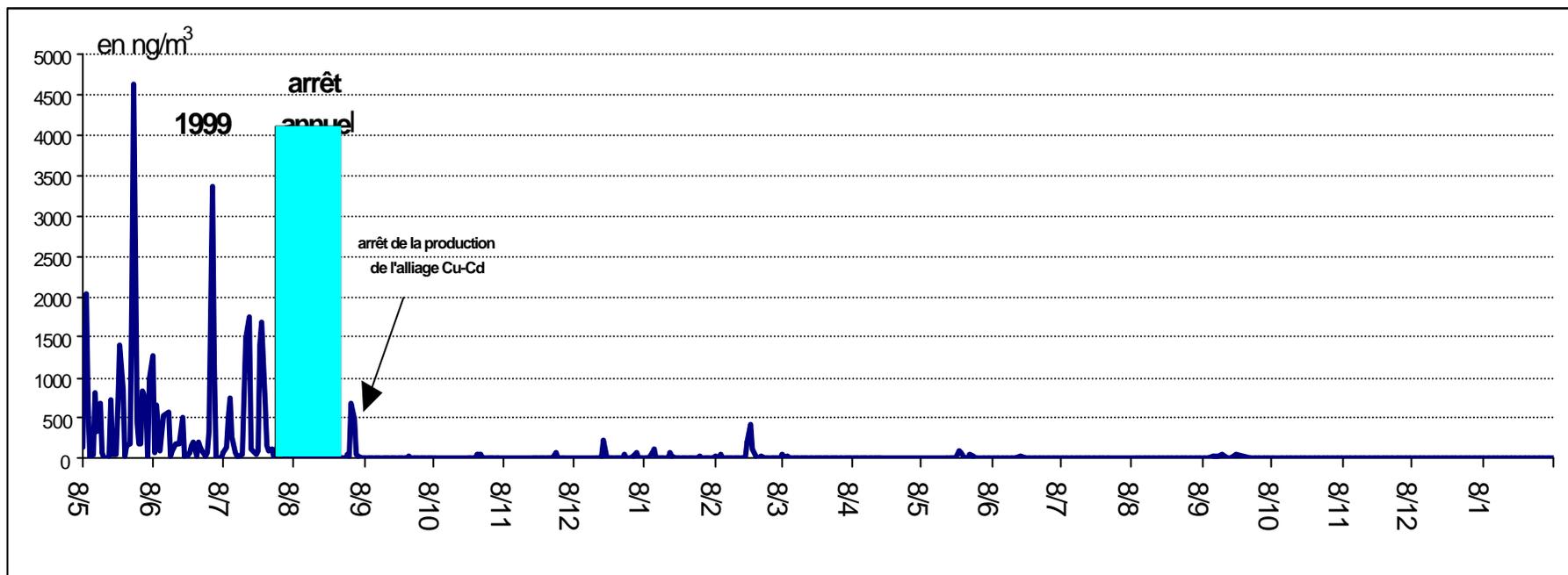


Figure 6. Evolution des niveaux de cadmium sur le site Marseille Saint-Louis du 8 Mai 1999 au 7 Février 2001
 Source : AIRMARAIX

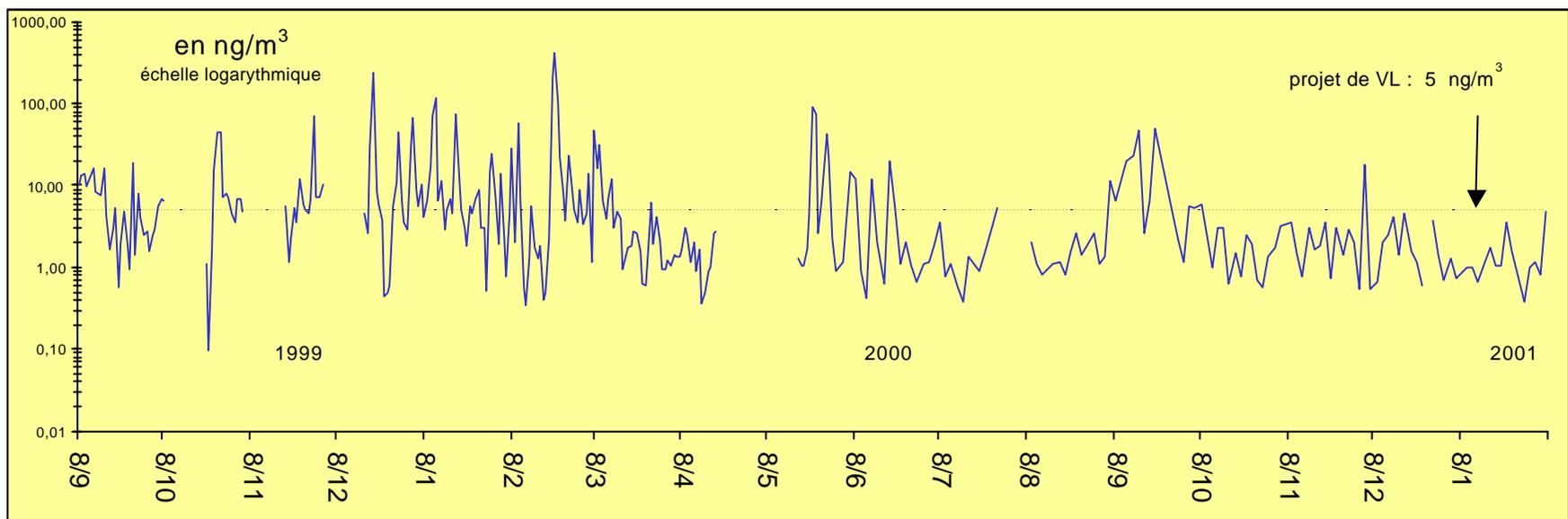


Figure 7. Evolution des niveaux de cadmium sur le site Marseille Saint-Louis depuis l'arrêt de l'utilisation du cadmium par TLM

Tableau 8. Concentration atmosphérique de cadmium (ng/m^3) sur le site de Saint-Louis (Mai 1999 - Février 2001)

	Moyenne	Maximum journalier	Date
Avant l'arrêt de la production de l'alliage Cu-Cd du 8/05 au 4/09/1999	361,0	4622,0	30/05/1999
Après l'arrêt de la production de l'alliage Cu-Cd du 05/09 au 31/12/1999	12,0	237,0	21/12/1999
Année 2000 du 01/01 au 31/12/2000	10,9	422,0	23/02/2000
Année 2001 du 01/01 au 07/02/2001	1,3	4,9	07/02/2001

Source : AIRMARAIX

6.2. Comparaison avec les niveaux mesurés sur des sites a priori non-exposés de la ville de Marseille

Les niveaux moyens de cadmium relevés sur les sites de mesure s'élèvent à $0,5 \text{ ng}/\text{m}^3$ pour Les Cinq Avenues, $0,6 \text{ ng}/\text{m}^3$ pour Rabatau et $2,1 \text{ ng}/\text{m}^3$ pour La Rose, alors qu'à Saint-Louis la moyenne pour l'ensemble de ces périodes est de $6,7 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Le site de La Rose présente des niveaux près de 4 fois supérieurs aux deux autres sites a priori non-exposés, le capteur pouvant être influencé par la zone polluée de Saint-Louis sous certaines conditions de vent. La valeur guide de $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ est néanmoins respectée.

Les niveaux de cuivre du site de Saint-Louis ($41,7 \text{ ng}/\text{m}^3$) montrent également l'influence du site industriel : ils sont près de 3 fois supérieurs aux autres sites de fond de la ville (de 15 à $26 \text{ ng}/\text{m}^3$).

7. Caractérisation de la zone témoin de l'étude épidémiologique

Cinq prélèvements ont été effectués par le CEREGE le 14 Février 2000 sur quatre sites différents : 3 sites en milieu urbain proches du groupe scolaire étudié et le dernier site en zone agricole. Un des 3 sites urbains a fait l'objet d'un prélèvement à une profondeur de 10 à 20 cm en plus du prélèvement de surface (0-10cm). Les teneurs en cadmium mesurées dans les sols sont toutes comprises entre 0,25 (en zone agricole) et $0,84 \text{ mg}/\text{kg}$ de matières sèches. Ces résultats confirment que cette zone peu être considérée comme non polluée et donne des indications quant au bruit de fond rencontré sur la ville de Marseille.

La campagne de mesures réalisée par AIRMARAIX à l'aide du Partisol Plus mobile a également permis de vérifier que le quartier de La Rose n'est pas soumis à une influence industrielle locale. La teneur moyenne en cadmium mesurée lors de la campagne, même si elle était supérieure aux autres sites de fond, restait inférieure à la recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé. [OMS, 1997].

8. Résultats du plan de dépollution

Le 17 Octobre 2000, la DRIRE a organisé une visite de contrôle de l'application de l'arrêté préfectoral du 13 avril 2000.

8.1. Dépollution du site industriel

L'opération de dépoussiérage du site de TLM s'est déroulée de Décembre 1999 à Mars 2000 : 4,2 tonnes de déchets solides contenant du cadmium ont été évacués ainsi que 2 tonnes d'eaux de lavage.

La CRAM Sud-Est a réalisé 2 nouvelles campagnes de mesures d'ambiance dans les locaux de l'entreprise, à l'issue des travaux, en Mars 2000 et en Juillet 2000.

Les résultats de ces campagnes (*tableau 8*) montrent une nette diminution des teneurs en cadmium dans l'air ambiant après travaux, qui sont jugées tout à fait satisfaisantes pour les salariés.

Il faut rappeler que des concentrations historiques en cadmium en milieu de travail ont été très élevées avec des valeurs pouvant atteindre près de 40 fois la VME (VME = Valeur limite de Moyenne d'Exposition sur 8 heures = $50 \mu\text{g}$ de cadmium/ m^3 = $50\,000 \text{ ng}/\text{m}^3$) en particulier lors d'opérations de vidange des fours de la fonderie. Depuis fin 1998, les travaux d'assainissement réalisés avaient déjà permis de réduire ces concentrations d'un facteur 10. Des valeurs de 3 à 4 fois la VME ont alors été constatées pour les opérateurs les plus exposés, lors des opérations de vidange des fours, nécessitant le port de protections individuelles.

Tableau 8. Analyses de l'air ambiant des locaux de TLM

		Mars 2000	Juillet 2000
Passerelle Labo.	Poussière (mg/m^3)	0,14	0,28
	Cadmium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,53	0,62
Enrouleur four	Poussière (mg/m^3)	0,12	0,17
	Cadmium ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,84	0,66

Données CRAM Sud-Est

Source : DRIRE Paca

8.2. Remplacement de la terre des jardins

Cette opération, qui s'est déroulée de Mai à Septembre 2000 dans un rayon de 200 mètres autour du site de TLM, a concerné 18 jardins potagers. 222 m³ de terres ont été enlevés, remplacés et stockés dans les bâtiments de l'entreprise avant évacuation vers un centre de stockage de classe 1.

8.3. Demandes complémentaires

A la suite des résultats des analyses d'air réalisées par AIRMARAIX, la DRIRE a demandé une expertise complémentaire pour tenter de comprendre les facteurs qui pouvaient expliquer les pics de pollution en cadmium qui subsistaient à la suite de la dépollution du site.

Le four de fusion a été percé à deux reprises, seul le four de coulée fonctionne à ce jour.

Des analyses dans les conduits d'évacuation des fours de fusion et d'alliage (croûtes et suies accumulées) ont montré des valeurs importantes en cadmium (de l'ordre de 500 mg/kg). Ces derniers n'avaient pas été traités lors de la dépollution du site industriel.

Ces fours n'étant plus utilisés depuis Décembre 2000, ils vont être démontés, nettoyés sur place et évacués du site.

Les rejets du four de coulée sont canalisés et traités par un filtre DELTRA NEU. Les analyses réalisées en Février et Mai 2001 à la sortie de ce filtre sont en dessous du seuil de détection pour le cadmium.

La capacité de production est limitée depuis Décembre 2000 à 2t/jour. Afin de retrouver une capacité proche de celle autorisée par l'arrêté préfectoral, un nouveau four de 1200 kg sera installé à partir de Septembre 2001. Dans le procédé de fabrication des câbles, le cadmium a été remplacé par du magnésium.

V. Résultats de l'étude épidémiologique chez les enfants

1. Description de la population

1.1. Taux de participation

Au total, 143 enfants ont été identifiés dans l'école Saint-Louis Gare et 261 dans l'école témoin de La Rose-Castors (*tableau 1*). Un questionnaire et un échantillon d'urines ont été recueillis pour 105 enfants dans l'école Saint-Louis et 97 dans l'école témoin. Les enfants non-éligibles de l'école Saint-Louis étaient les absents au cours de l'année scolaire 1999-2000. Les taux de participation parmi les éligibles sont de 99 % à Saint-Louis et de 95 % dans l'école témoin. Si on considère comme dénominateur l'ensemble des enfants scolarisés dans ces écoles (en excluant les non-éligibles et en estimant que la proportion de non-éligibles dans l'école témoin était la même que dans l'école exposée soit 18 %), les taux de réponse sont respectivement de 91 % (105/116) et 45 % (97/214).

Tableau 1. Participation des enfants de l'école Saint-Louis et de l'école témoin à l'étude épidémiologique

	St Louis			Témoin		
	Maternelle Primaire	Collège	Total	Maternelle Primaire	Collège	Total
Non joints	8	2	10	127	32	159
Non-éligibles	27	0	27	0	0	0
Éligibles	93	13	106	95	7	102
Sous-total	128	15	143	222	39	261
Refusants	1	0	1	5	0	5
Participants	92	13	105	90	7	97

1.2. Caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, niveau d'études, activités professionnelles)

Le tableau 2 présente les caractéristiques sociodémographiques des enfants et de leurs parents. La proportion des enfants de moins de 8 ans est plus élevée chez les enfants scolarisés à l'école Saint-Louis qu'à l'école La Rose-Castors (51 % contre 39 %). La proportion de garçons et celle de

filles ne diffèrent pas significativement entre les deux écoles. En revanche, le niveau d'études et la situation face à l'emploi des parents étaient significativement différentes entre les deux écoles. Le niveau d'études des pères et des mères était plus élevé dans le site témoin ; de même, la proportion de parents ayant une activité professionnelle était plus élevée dans le site témoin (père : 88 % contre 48 % ; mère : 56 % contre 22 %).

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques des répondants (pourcentages en colonnes).

	Total n=202	St Louis n=105	Témoin n=97	p
Age				0,07
4 à 6	50 (25)	33 (31)	17 (17)	
7 à 8	42 (21)	21 (20)	21 (22)	
9 à 10	59 (29)	24 (23)	35 (36)	
> 10	51 (25)	27 (26)	24 (25)	
Sexe				0,31
Garçons	105 (52)	51 (49)	54 (56)	
Filles	97 (48)	54 (51)	43 (44)	
Niveau d'études des parents :				
Père				< 0,0001
NR*	35 (17)	21 (20)	14 (14)	
Sans diplôme	48 (24)	38 (36)	10 (10)	
CERTIF-BEPC	19 (9)	5 (5)	14 (14)	
CAP-BEP	67 (33)	34 (32)	33 (34)	
> ou = BAC	33 (16)	7 (7)	26 (27)	
Mère				< 0,0001
NR	9 (5)	8 (8)	1 (1)	
Sans diplôme	84 (42)	61 (58)	23 (24)	
CERTIF-BEPC	19 (9)	7 (7)	12 (12)	
CAP-BEP	60 (30)	21 (20)	39 (40)	
> ou = BAC	30 (15)	8 (8)	22 (23)	
Profession des parents :				
Père				< 0,0001
Travail	135 (67)	50 (48)	85 (88)	
Chômage	23 (11)	18 (17)	5 (5)	
Sans activité	44 (22)	37 (35)	7 (7)	
Mère				< 0,0001
Travail	77 (88)	23 (22)	54 (56)	
Chômage	24 (12)	15 (14)	9 (9)	
Sans activité	101 (50)	67 (64)	34 (35)	

* NR : non renseigné

2. Distribution des facteurs de risque dans les populations exposées et non-exposées

Le tableau 3 présente les caractéristiques d'exposition des enfants selon le lieu (école fréquentée, résidence) la manipulation de produits contenant du cadmium par les parents (à titre professionnel ou lors d'activités de loisirs) et le comportement « mains-bouche » actuel et passé.

2.1. Fréquentation de l'école (Tableau 3)

Dans le site de Saint Louis, 99 % des enfants ont fréquenté l'école Saint-Louis Gare en Mai-Juin 1999 ; un seul enfant n'était pas présent dans l'école durant cette période (élève de 6^{ème} doublant).

2.2. Lieu de résidence (Tableau 3)

La quasi-totalité des enfants de l'école Saint-Louis (98 %) résidait au moment de l'enquête dans le quartier Saint-Louis au mois de Mai-Juin 1999. A l'inverse, dans l'école témoin, 74 % résidaient dans la zone témoin et 26 % dans un autre quartier (mais pas dans le quartier Saint Louis).

2.3. Exposition professionnelle et/ou liée aux loisirs des parents (Tableau 3)

Aucun enfant de l'école Saint-Louis n'avait un parent travaillant ou ayant travaillé dans l'usine TLM ; en revanche, trois enfants de l'école témoin avaient un parent ayant travaillé dans l'usine TLM dont deux enfants de la même famille. Vingt et un pour cent des parents avaient une activité de travail ou de loisirs en rapport potentiel avec le cadmium (i.e. manipulation de batteries, travaux de peinture...) ; cette proportion était plus élevée chez les parents des enfants de l'école Saint-Louis (27 % contre 15 %).

2.4. Jardin et lieu exposé (Tableau 3)

Sept pour cent des enfants de l'école Saint-Louis résidaient dans un logement comprenant un jardin dans la zone exposée au cadmium ; aucun enfant de l'école témoin n'a fréquenté un jardin public de la zone exposée au cours du 1^{er} semestre 1999. Enfin, 20 des enfants de l'école Saint-Louis Gare avaient fréquenté un lieu exposé au cours de cette même période (centre de loisirs) ou rendu visite à des personnes résidant en zone exposée (assistantes maternelles, parents, amis). Un enfant de l'école témoin a de la famille dans la zone exposée, qu'il voyait rarement.

2.5. Comportement mains-bouche (Tableau 3)

La fréquence du comportement mains-bouche chez les enfants au moment de l'enquête ne diffère pas suivant l'école, bien que les enfants de l'école Saint-Louis soient plus jeunes que ceux de l'école témoin (31 % d'enfants de 4 à 6 ans à Saint-Louis contre 17 % à La Rose). On peut noter que les enfants de l'école Saint-Louis étaient proportionnellement plus nombreux que dans l'école témoin à avoir, dans le passé, porté de la terre, du plâtre, et des plantes à la bouche. La fréquence du lavage des mains ne diffère pas significativement entre les deux écoles.

2.6. Consommation alimentaire de l'enfant et tabagisme passif (Tableau 4)

Le tableau 4 présente les résultats concernant la consommation de tabac dans l'entourage proche de l'enfant. On peut noter que le nombre de fumeurs et le nombre de cigarettes fumées dans l'entourage de l'enfant ne diffèrent pas suivant l'école, même s'il semble un peu plus élevé pour les enfants de la zone exposée. Il faut cependant noter que 61 % des enfants avaient dans leur entourage proche un ou plusieurs fumeurs (64 % zone TLM contre 58 % en zone témoin) et que 32 % des enfants étaient exposés « passivement » à plus de 5 cigarettes fumées par jour (36 % en zone TLM contre 29 % en zone non-exposée).

Certaines habitudes alimentaires diffèrent entre les enfants des deux écoles, probablement du fait du niveau socio-économique et/ou culturel. Ainsi, la consommation de poissons et de crustacés est plus fréquente parmi les enfants de l'école témoin que parmi ceux de l'école Saint Louis. En revanche, la consommation d'huîtres, de moules et d'abats (rognons ou foie) ne diffère pas significativement entre les deux écoles. En ce qui concerne les fruits et légumes des jardins exposés dans lesquels les niveaux de cadmium ont été considérés élevés, un enfant en a consommé 1 fois par an et trois enfants en ont consommé 2 à 5 fois par an. Aucun enfant n'a consommé d'aliments tels que volailles et lapins élevés dans les jardins exposés.

Tableau 3. Evaluation de l'exposition dans les lieux exposés, activités des parents en lien avec le cadmium et comportement mains-bouche parmi les deux groupes d'exposition (n=202, pourcentage en colonnes).

	Total n=202	St Louis n=105	Témoïn n=97	p
Fréquentation de l'école Saint-Louis (en Mai-Juin 1999)				
<i>Tous les jours</i>	95 (47)	95 (91)	0	
<i>Irrégulement</i>	10 (5)	9 (9)	0	
<i>Jamais</i>	97 (48)	1 (0)	96(100)	
Lieu de résidence au moment de l'étude				
<i>St Louis</i>	101 (50)	101 (96)	0	
<i>Témoïn</i>	72 (36)	0	72 (74)	
<i>Autre</i>	29 (14)	4 (4)	25 (26)	
Résidence dans le quartier Saint-Louis (en Mai-Juin 99)				
		103 (98)	0	
Emploi des parents à TLM				
	3 (1,5)	0	3 (3)	
Exposition des parents au cadmium dans leurs activités professionnelles ou de loisirs				
	43 (21)	28 (27)	15 (15)	0,05
Habitat avec jardin privé exposé				
	7 (3,5)	7 (7)	0	
Séjour dans un lieu exposé (en Mai-Juin 99)				
	20 (10)	19 (18)	1 (1)	
Activités mains-bouche actuellement				
				0,79
<i>Très souvent</i>	27 (13)	16 (15)	11 (11)	
<i>Souvent</i>	41 (20)	22 (21)	19 (20)	
<i>Parfois</i>	54 (27)	26 (25)	28 (29)	
<i>Exceptionnellement</i>	27 (13)	12 (11)	15 (16)	
<i>Jamais</i>	53 (26)	29 (28)	24 (25)	
Contact mains-bouche dans le passé avec :				
<i>Terre</i>	43 (21)	31 (30)	12 (12)	0,003
<i>Plâtre</i>	8 (4)	8 (8)	0	0,006
<i>Écailles de peinture</i>	8 (4)	6 (6)	2 (2)	0,18
<i>Plantes</i>	26 (13)	21 (20)	5 (5)	0,002
Lavage des mains				
				0,12
<i>2 à 3 fois par jour</i>	41 (20)	20 (19)	21 (22)	
<i>4 fois par jour</i>	63 (31)	26 (25)	37 (38)	
<i>5 fois par jour</i>	57 (28)	35 (33)	22 (22)	
<i>> 5 fois par jour</i>	41 (20)	24 (23)	17 (18)	

Tableau 4. Exposition au tabac et habitudes de consommation de produits potentiellement riches en cadmium (n = 202, pourcentage en colonnes).

	Total (n=202)	Saint Louis (n=105)	Témoïn (n=97)	p
Nombre de fumeurs dans l'entourage proche de l'enfant				
				0,36
0	79 (39)	38 (36)	41 (42)	
1	86 (43)	44 (42)	42 (43)	
> 1	37 (18)	23 (22)	14 (15)	
Nombre de cigarettes fumées en présence de l'enfant par jour				
				0,53
Aucun fumeur	79 (39)	38 (36)	41 (42)	
0	27 (13)	12 (11)	15 (16)	
1 à 5	30 (15)	17 (16)	13 (13)	
6 à 10	33 (16)	21 (20)	12 (12)	
> 10	33 (16)	17 (16)	16 (17)	
Fréquence de consommation de :				
<i>Huîtres</i>				
				0,76
jamais	173 (85)	91 (87)	82 (85)	
1 fois par mois	26 (13)	13 (12)	13 (13)	
> 2 fois par mois	2 (1)	1 (1)	1 (1)	
2 fois par mois	1 (1)	0 (0)	1 (1)	
<i>Moules</i>				
				0,10
jamais	128 (63)	74 (70)	54 (55)	
1 fois par mois	34 (17)	15 (14)	19 (20)	
2 fois par mois	29 (14)	10 (10)	19 (20)	
> 2 fois par mois	11 (6)	6 (6)	5 (5)	
<i>Poissons</i>				
				0,03
jamais	14 (7)	5 (5)	9 (9)	
< 1 fois par semaine	44 (22)	30 (29)	14 (14)	
1 fois par semaine	86 (43)	46 (44)	40 (41)	
> 1 fois par semaine	58 (29)	24 (23)	34 (35)	
<i>Crustacés</i>				
				<0,001
jamais	114 (56)	74 (71)	40 (41)	
< 1 par mois	46 (23)	16 (15)	30 (31)	
1 fois par mois	42 (21)	15 (14)	27 (28)	
<i>Rognons ou foie</i>				
				0,25
jamais	109 (54)	54 (51)	55 (57)	
< 1 fois par mois	33 (16)	17 (16)	16 (17)	
1-2 fois par mois	40 (20)	26 (25)	14 (14)	
> 2 fois par mois	20 (10)	8 (8)	12 (12)	
Consommation d'un produit potentiellement riche en cadmium la semaine précédant le recueil urinaire				
	68 (34)	40 (38)	28 (29)	0,17

3. Distribution des cadmiuries dans les deux zones

Tous les parents dont les enfants ont accepté le recueil d'urine ont répondu au questionnaire : 202 analyses ont donc été effectuées (cf. méthode). La distribution de la cadmiurie ne suivant pas une loi normale (figure 1), nous avons réalisé les tests statistiques après transformation logarithmique de cette variable. La figure 2 présentant les courbes de cadmiurie séparément pour les enfants des deux écoles illustre la différence qui existe entre les deux écoles avec la majorité des valeurs mesurées pour les enfants de l'école témoin inférieures à la moyenne observée pour les enfants de l'école Saint Louis.

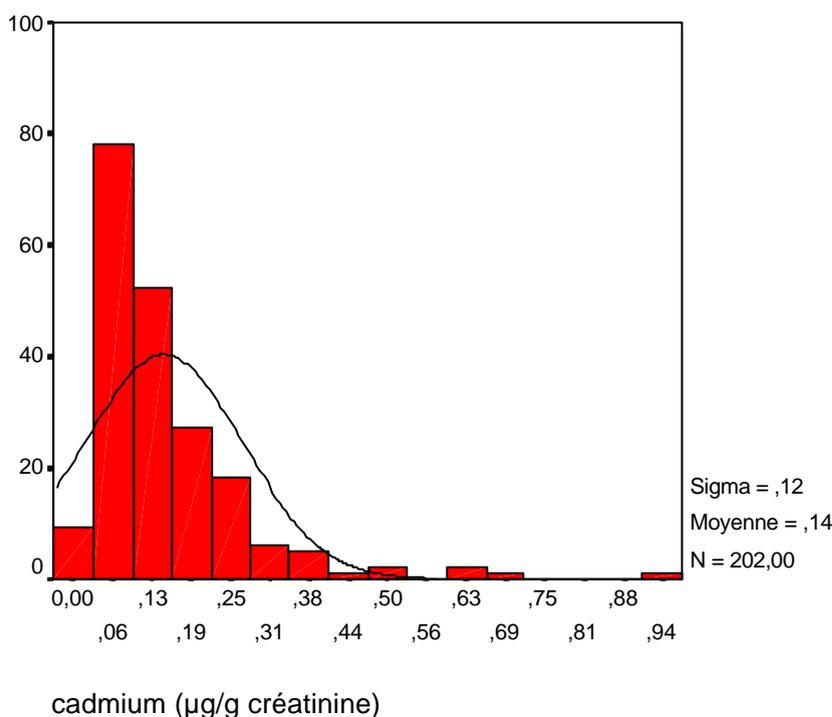
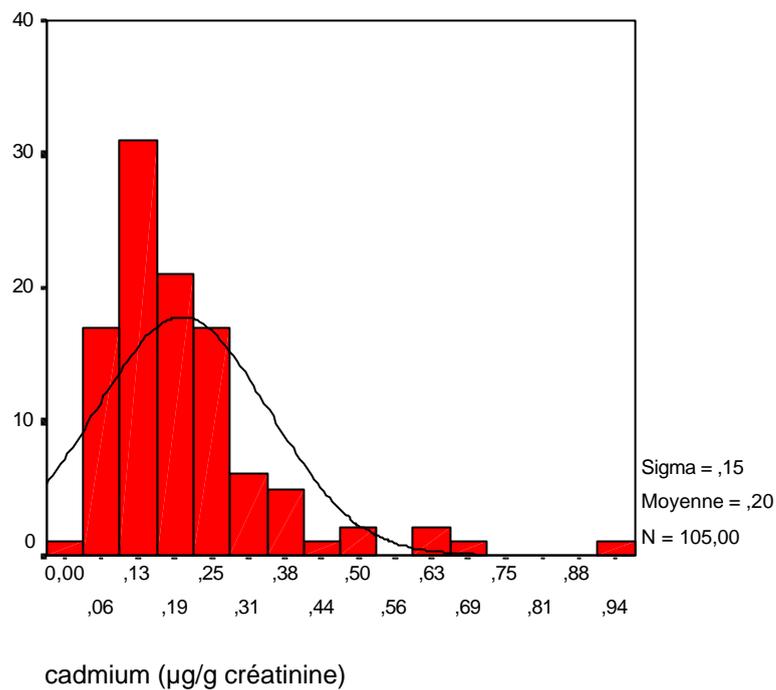


Figure 1. Distribution des cadmiuries chez l'ensemble des enfants de l'école Saint-Louis et de l'école témoin.

**Enfants de l'école
Saint-Louis Gare**



Enfants de l'école témoin

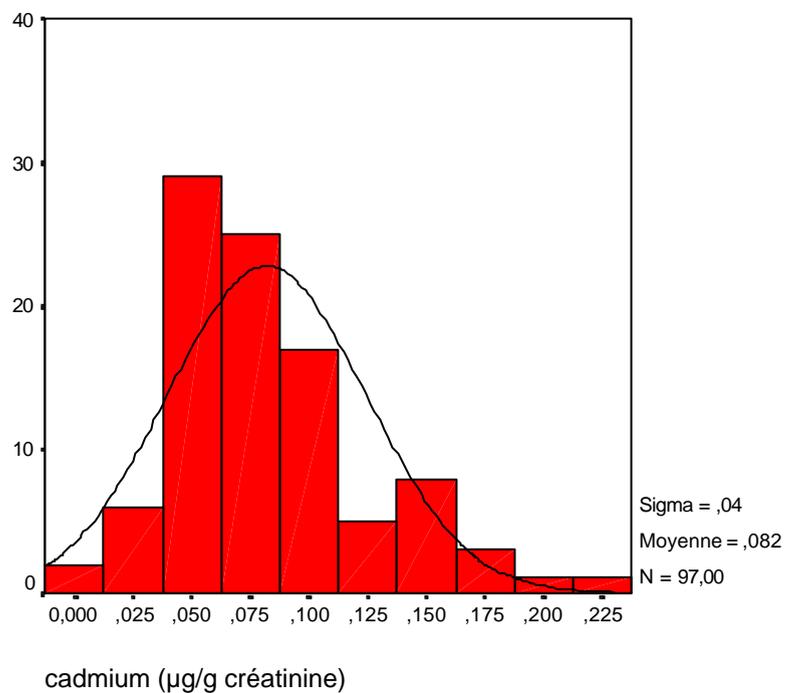


Figure 2. Distributions des cadmiuries séparément chez les enfants de l'école Saint-Louis et chez ceux de l'école témoin.

4. Analyse univariée des facteurs de variation des cadmiuries

Avant de comparer les deux écoles, nous avons cherché à identifier les facteurs associés à la cadmiurie, d'une part dans l'échantillon total et, d'autre part, chez les enfants de chacune des écoles de l'étude.

4.1. Cadmiuries en fonction des caractéristiques sociodémographiques (sexe, âge, niveau d'études, activité professionnelle)

Le tableau 5 présente les moyennes géométriques des cadmiuries (exprimées en $\mu\text{g/g}$ de créatinine) en fonction des caractéristiques sociodémographiques. On peut noter que la cadmiurie ne varie pas de manière significative suivant le sexe et l'âge des enfants. En revanche, le niveau d'étude des parents ainsi que leur activité professionnelle sont associés à une variation des niveaux de cadmium de leurs enfants. En effet, les enfants dont les pères ont un niveau d'études supérieur ou égal au baccalauréat présentent un taux de cadmium significativement plus bas ($0,07 \mu\text{g/g}$ de créatinine, $p=0,001$), il en est de même lorsque les pères travaillent ($0,09 \mu\text{g/g}$ de créatinine, $p<0,0001$). Cette dernière différence est également marquée pour le groupe des enfants de Saint-Louis uniquement.

Tableau 5. Moyennes géométriques des cadmiuries en fonction des caractéristiques sociodémographiques (exprimées en **mg/g** de créatinine).

		Total n=202	p	St Louis n=105	p	Témoïn n=97	p
Sexe	<i>garçons</i>	0,10	0,16	0,15	0,18	0,07	0,97
	<i>filles</i>	0,12		0,18		0,07	
Age	<i>4 à 6</i>	0,12	0,42	0,15	0,81	0,08	0,47
	<i>7 à 8</i>	0,10		0,17		0,06	
	<i>8 à 10</i>	0,10		0,16		0,07	
	<i>> 10</i>	0,12		0,18		0,07	
Niveau d'études							
Père			0,001		0,47		0,16
	<i>NR</i>	0,15		0,20		0,09	
	<i>Sans diplôme</i>	0,13		0,15		0,07	
	<i>CERTIF-BEPC</i>	0,10		0,17		0,08	
	<i>CAP-BEP</i>	0,11		0,16		0,07	
<i>≧ BAC</i>	0,07	0,15	0,06				
Mère			0,01		0,60		0,90
	<i>NR</i>	0,14		0,15		0,06	
	<i>Sans diplôme</i>	0,14		0,17		0,08	
	<i>CERTIF-BEPC</i>	0,10		0,18		0,07	
	<i>CAP-BEP</i>	0,09		0,13		0,07	
<i>≧ BAC</i>	0,09	0,18	0,07				
Profession des parents							
Père			0,0001		0,006		0,73
	<i>Travail</i>	0,09		0,13		0,07	
	<i>Chômage</i>	0,16		0,18		0,08	
<i>Sans activité</i>	0,17	0,20	0,06				
Mère			0,0001		0,07		0,23
	<i>Travail</i>	0,08		0,13		0,06	
	<i>Chômage</i>	0,14		0,19		0,09	
<i>Sans activité</i>	0,13	0,17	0,08				

* p : degré de signification de l'analyse de variance ajustée sur l'école, après transformation log-normale.

Les enfants dont les mères ont obtenu des diplômes dans leur scolarité ou dont les mères travaillent ont une cadmiurie plus faible ($p=0,01$ et $p<0,0001$). Il sera nécessaire, compte tenu des différences sociodémographiques dans les deux écoles, de prendre en compte la profession des parents dans la comparaison des deux écoles.

4.2. Cadmiuries en fonction des expositions alimentaires et de la consommation de tabac des parents

Le tableau 6 présente les moyennes géométriques des cadmiuries en fonction de l'exposition au tabagisme passif et des habitudes alimentaires. La cadmiurie moyenne des enfants exposés au tabac ne diffère pas de celle des enfants non-exposés. Pour ce qui concerne l'alimentation, la consommation de moules est associée à des taux moyens de cadmium urinaire plus bas ($p=0,02$). Pour les crustacés, les enfants qui en mangent moins d'une fois par mois ont des cadmiuries significativement plus faibles que ceux qui n'en mangent jamais et ceux qui en mangent plus d'une fois par mois. Ceci n'est cependant observé que pour les enfants de l'école Saint Louis. La consommation d'autres aliments n'interfère pas avec la cadmiurie.

Tableau 6. Moyennes géométriques des cadmiuries en fonction de l'exposition au tabac et des habitudes de consommation de produits potentiellement riches en cadmium (exprimées en **mg/g** de créatinine)

	Total n=202	p	St Louis n=105	p	Témoin N=97	p
TABAGISME						
Nombre de fumeurs dans l'entourage proche de l'enfant						
		0,33		0,24		0,11
0	0,11		0,17		0,07	
1	0,12		0,17		0,08	
> 1	0,09		0,13		0,05	
Nombre de cigarettes fumées en présence de l'enfant par jour						
		0,55		0,31		0,89
aucune	0,11		0,17		0,07	
0	0,11		0,18		0,07	
1 à 5	0,10		0,12		0,08	
6 à 10	0,13		0,18		0,08	
> 10	0,10		0,16		0,06	
ALIMENTATION						
Huîtres						
		0,49		0,73		0,72
jamais	0,11		0,16		0,07	
1 fois par mois	0,11		0,16		0,07	
2 fois par mois	0,16		0,27		0,10	
> 2 fois par mois	0,04				0,04	
Moules						
		0,02		0,03		0,33
jamais	0,12		0,16		0,07	
1 fois par mois	0,13		0,23		0,08	
2 fois par mois	0,08		0,14		0,06	
> 2 fois par mois	0,08		0,10		0,05	
Poissons						
		0,71		0,54		0,39
jamais	0,10		0,11		0,10	
< 1 fois par semaine	0,12		0,16		0,06	
1 fois par semaine	0,11		0,16		0,07	
< 1 fois par semaine	0,10		0,17		0,07	
Crustacés						
		0,004		0,01		0,52
jamais	0,12		0,16		0,07	
< 1 par mois	0,08		0,12		0,06	
> ou = 1 fois par mois	0,11		0,24		0,07	
Rognons ou foie						
		0,33		0,27		0,63
jamais	0,10		0,16		0,07	
< 1 fois par mois	0,10		0,13		0,08	
1-2 fois par mois	0,13		0,19		0,07	
> 2 fois par mois	0,12		0,21		0,08	
Consommation d'un produit potentiellement riche en cadmium la semaine précédant le recueil d'urine						
		0,61		0,84		0,80
Oui	0,11		0,17		0,07	
Non	0,11		0,16		0,07	

4.3. Caractéristiques d'habitation, de scolarisation et de comportement mains-bouche chez tous les enfants (Tableau 7)

Le tableau 7 présente les moyennes géométriques des cadmiuries en fonction de la régularité de fréquentation de l'école Saint-Louis (présence dans l'école et dans la zone exposée), et des activités professionnelles et de loisirs des parents et des enfants en rapport avec le cadmium. Les enfants ayant été inscrits à l'école Saint-Louis Gare en 1999 et habitant le quartier Saint-Louis présentent des cadmiuries plus élevées que les enfants de la zone témoin ($p < 0,0001$). D'autre part, lorsque les enfants scolarisés à Saint-Louis Gare résident dans un logement avec un jardin privé exposé, ils ont un taux de cadmium en moyenne plus élevé que les autres ($0,24 \mu\text{g/g}$ de créatinine versus $0,11$, $p = 0,11$). On n'observe pas une cadmiurie moyenne significativement plus élevée chez les enfants de parents exerçant au moins une activité susceptible d'entraîner une exposition au cadmium (27 % à Saint-Louis et 15 % à La Rose) : fabrication de produits anti-corrosion, la fabrication de batteries, l'industrie des alliages et de la fonderie, la soudure, le recyclage des métaux, l'industrie automobile, l'industrie du vernis et de l'émail, la fabrication de cellules photo ou la peinture.

Tableau 7. Moyennes géométriques des cadmiuries (Cd) en fonction de l'exposition (exprimées en **mg/g** de créatinine)

		Total (n=202)			St Louis (n=105)			Témoïn (n=97)		
		N	Cd	p	N	Cd	p	N	Cd	p
Fréquentation de l'école St Louis en Mai-Juin 1999										
				0,0001			0,59			-
	<i>tous les jours</i>	95	0,17		95	0,17			-	
	<i>irrégulièrement</i>	9	0,13		9	0,13			-	
	<i>jamais</i>	98	0,07		1	0,21		97	0,07	
Habitat				0,0001			0,10			0,45
	<i>St Louis</i>	101	0,17		101	0,17		0	-	
	<i>témoïn</i>	72	0,07		-	-		72	0,07	
	<i>autre</i>	29	0,07		4	0,10		25	0,07	
Présence dans le logement actuel en Mai-Juin 1999										
				0,45			0,59			0,15
	<i>oui</i>	199	0,11		103	0,16		96	0,07	
	<i>non</i>	3	0,08		2	0,13		1	0,03	
Habitat avec un jardin privé exposé										
				0,005			0,11			-
	<i>oui</i>	7	0,24		7	0,24		0	-	
	<i>non</i>	195	0,11		98	0,16		97	0,07	
Séjour dans un lieu exposé en Mai-Juin 1999										
				0,05			0,61			0,68
	<i>oui</i>	20	0,15		19	0,15		1	0,09	
	<i>non</i>	182	0,11		86	0,17		96	0,07	
Exposition des parents au cadmium dans leurs activités										
				0,29			0,85			0,73
	<i>oui</i>	43	0,12		28	0,17		15	0,07	
	<i>non</i>	159	0,11		77	0,16		82	0,07	
Activités mains-bouche actuellement										
				0,61			0,89			0,92
	<i>très souvent</i>	27	0,12		16	0,17		11	0,07	
	<i>souvent</i>	41	0,12		22	0,17		19	0,08	
	<i>parfois</i>	54	0,10		26	0,15		28	0,07	
	<i>exceptionnellement</i>	27	0,10		12	0,17		15	0,07	
	<i>jamais</i>	53	0,12		29	0,17		24	0,07	
Contact mains-bouche dans le passé avec										
<i>terre</i>	<i>oui</i>	43	0,13	0,12	31	0,18	0,30	12	0,05	0,06
	<i>non</i>	159	0,10		74	0,16		85	0,07	
<i>plâtre</i>	<i>oui</i>	8	0,16	0,12	8	0,16	0,99	0	-	-
	<i>non</i>	194	0,11		97	0,16		97	0,07	
<i>peinture</i>	<i>oui</i>	8	0,15	0,26	6	0,22	0,24	2	0,04	0,22
	<i>non</i>	194	0,11		99	0,16		95	0,07	
<i>plantes</i>	<i>oui</i>	26	0,12	0,57	21	0,14	0,28	5	0,05	0,27
	<i>non</i>	176	0,11		84	0,17		92	0,07	

4.4. Caractéristiques d'habitation et de scolarisation chez les enfants de Saint-Louis Gare (*Tableau 8*)

Au sein du groupe des enfants de l'école Saint-Louis Gare, les cadmiuries ne diffèrent pas en fonction de l'ancienneté du logement ou du caractère exposé de la zone.

Cependant, si l'on regroupe la zone exposée avec la cité des Créneaux où résident 48 % des enfants de Saint-Louis Gare, située à une centaine de mètres au nord de la délimitation de la zone exposée, la moyenne géométrique des cadmiuries des enfants est supérieure à celle des enfants qui résident dans la zone non-exposée (0,17 µg/g versus 0,11 µg/g, $p=0,02$). Les moyennes géométriques des cadmiuries des enfants de la cité des Créneaux sont plus élevées que celles des enfants résidant dans la zone exposée (0,18 µg/g versus 0,16 µg/g, $p=0,46$) mais de façon non significative.

En étudiant les niveaux de cadmiuries en rapport avec le temps passé dans la zone exposée ou dans l'école, deux points importants apparaissent.

Tout d'abord, le temps de résidence dans la zone exposée (y compris la cité des Créneaux) est corrélé à la cadmiurie indépendamment de l'âge des enfants ($p<0,001$) : plus la durée de résidence a été longue, plus la cadmiurie est élevée. La moyenne géométrique des cadmiuries est de 0,14 µg/g chez les enfants ayant habité entre une et trois années dans cette zone alors qu'elle est de 0,19 µg/g pour ceux qui y résident depuis plus de 10 ans ($p=0,05$).

Ensuite, on observe une tendance à la hausse des cadmiuries en fonction de la durée de scolarisation des enfants à Saint-Louis Gare : de 0,14 µg/g pour les enfants ayant été scolarisés entre une et trois années, à 0,20 µg/g pour ceux y ayant été entre sept et dix ans ($p=0,06$). Cette tendance est très significative après ajustement sur l'âge des enfants.

Tableau 8. Moyennes géométriques des cadmiuries (en µg/g de créatinine) selon les caractéristiques d'habitation (durée, zone...) et de scolarisation des enfants de l'école Saint-Louis Gare

	Saint-Louis Gare (n=105)		
	N (%)	Cadmiurie	p
Date de construction du logement			
<i>Avant 1945</i>	17 (16)	0,14	0,63
<i>Après 1945</i>	71 (68)	0,17	
<i>NSP</i>	17 (16)	0,17	
Zone d'habitation			
<i>Zone exposée</i>	40 (38)	0,16	0,95
<i>Zone non-exposée</i>	65 (62)	0,16	
<i>Dont hors zone</i>	60 (57)	0,17	0,53
<i>Dont hors St Louis</i>	5 (5)	0,12	
Habitat à la cité des Créneaux			
<i>Créneaux</i>	50 (48)	0,18	0,11
<i>Autre</i>	55 (52)	0,15	
Créneaux vs Zone exposée			
<i>Zone exposée</i>	40 (44)	0,16	0,46
<i>Créneaux</i>	50 (56)	0,18	
Zone exposée comptant les Créneaux			
<i>Zone exposée + Créneaux</i>	90 (86)	0,17	0,02
<i>Autre</i>	15 (14)	0,11	
Temps de résidence dans la zone exposée			
<i>1 à 3 ans</i>	17 (16)	0,14	0,32
<i>4 à 6 ans</i>	15 (14)	0,18	
<i>7 à 9 ans</i>	5 (5)	0,27	
<i>10 à 12 ans</i>	8 (8)	0,14	
<i>Jamais habité la zone</i>	60 (57)	0,16	
Temps de résidence dans la zone exposée comprenant les Créneaux			
<i>1 à 3 ans</i>	17 (16)	0,14	0,05
<i>4 à 6 ans</i>	27 (26)	0,16	
<i>7 à 9 ans</i>	24 (23)	0,20	
<i>10 à 12 ans</i>	24 (23)	0,19	
<i>Jamais habité cette zone</i>	13 (12)	0,11	
Temps de scolarisation à l'école			
<i>1 à 3 ans</i>	48 (46)	0,14	0,06
<i>4 à 6 ans</i>	31 (29)	0,17	
<i>7 à 10 ans</i>	26 (25)	0,20	

* p calculé après ajustement sur l'âge des enfants

Ces résultats semblent montrer que la moyenne des cadmiuries des enfants de la cité des Créneaux est aussi élevée que celle de la zone exposée. On peut, en conséquence, supposer que la cité des Créneaux et ses proches environs seraient exposés à la pollution.

4.5. Comparaison des cadmiuries en fonction de la zone (analyse univariée)

Aucun des enfants de la zone exposée et de la zone témoin ne dépasse la valeur de 2 µg de Cd/ g de créatinine admise comme référence.

La comparaison brute de la cadmiurie entre les enfants scolarisés à l'école Saint-Louis et l'école témoin montre qu'après transformation logarithmique, il existe une différence significative. La moyenne géométrique de la cadmiurie est environ 2 fois plus élevée, ce de façon significative chez les enfants scolarisés à Saint-Louis que chez ceux scolarisés dans l'école La Rose Castors (0,16 contre 0,07 µg/g créatinine vs 0,07 (0,08), $p < 0,001$) (tableau 9).

Tableau 9. Caractéristiques de la cadmiurie en µg/g de créatinine

	Total	St Louis	Témoin
Nombre d'observations	202	105	97
Moyenne arithmétique des cadmiuries	0,14	0,20	0,08
Ecart-Type	0,12	0,14	0,04
Médiane	0,10	0,17	0,07
Minimum	0,008	0,03	0,008
Maximum	0,96	0,96	0,22
Moyenne géométrique	0,11	0,16	0,07

5. Analyse de régression multiple

5.1. Ensemble de la population de l'étude

La différence mise en évidence dans l'analyse univariée demeure significative ($p < 0,0001$) après ajustement sur les facteurs de confusion potentiels tels que l'âge de l'enfant, le sexe, l'activité professionnelle des parents, le comportement mains-bouche, la manipulation de produits contenant potentiellement du cadmium par les parents, le tabagisme dans l'entourage, la consommation d'huîtres, de moules et de crustacés (tableau 10). Par ailleurs, il ressort que l'activité professionnelle du père et de la mère sont des facteurs associés aux cadmiuries ($p = 0,040$, $p = 0,036$).

Tableau 10. Signification des facteurs de variation de la cadmiurie dans l'analyse globale. Variable dépendante : Cadmiurie (après transformation logarithmique)

Source	Signification
Ecole	,000
Activité professionnelle de la mère	,036
Activité professionnelle du père	,040
Consommation de moules	,065
Consommation de crustacés	,141
Exposition au tabagisme	,161
Comportement « mains-bouche »	,359
Exposition des parents au cadmium pendant le travail ou les loisirs	,467
Âge de l'enfant (par tranche d'âge)	,473
Consommation d'huîtres	,561

5.2. Enfants de l'école Saint-Louis

Enfin, une analyse de régression multiple a également été effectuée chez les enfants du quartier Saint-Louis seuls, pour étudier les facteurs qui seraient liés à des niveaux plus élevés de cadmium. Les analyses qui ont été effectuées ont toutes été ajustées sur le sexe, l'âge, la profession du père et celle de la mère.

Un premier modèle incluait la zone de résidence (zone exposée regroupant la zone des créneaux et la zone non-exposée). Le fait de résider dans la zone exposée ou dans le quartier des créneaux était significativement associé à une cadmiurie augmentée (respectivement $p = 0,04$ et $p = 0,02$).

L'introduction supplémentaire dans un second modèle des variables de consommation de moules ou de crustacés et d'exposition passive au tabac (significativement associées à la cadmiurie lors de l'analyse univariée) modifiait légèrement les résultats précédents : le fait de résider dans la zone exposée n'était plus significatif ($p = 0,06$).

Un troisième modèle incluant, en plus des variables du premier modèle, la durée de résidence dans la zone exposée ou celle des créneaux a été testé : la variable durée de résidence était significativement associée à une augmentation de la cadmiurie ($p = 0,04$) mais les variables liées à la résidence dans la zone exposée ou dans le quartier des créneaux ne l'étaient plus.

6. Résultats des analyses des RBP chez les enfants

Les valeurs de cadmiurie mesurées chez les enfants étaient basses et inférieure à la valeur de référence ; cependant si cette dernière est bien définie pour les adultes, ce n'est pas le cas pour les enfants. Pour cette raison, le Comité Scientifique a jugé nécessaire d'effectuer aussi un dosage des RBP chez les enfants afin de vérifier l'absence d'impact rénal des expositions au cadmium.

6.1. Dosages de RBP effectués

Sur les 202 enfants inclus dans l'étude, des analyses de RBP sur les urines ont été possibles pour 197 d'entre eux ; pour 5 enfants, les quantités d'urine recueillies n'étaient pas suffisantes pour effectuer un second dosage, après celui de cadmium. Chez les enfants exposés (N=105), 102 dosages de RBP ont été effectués et chez les enfants de l'école témoin (N = 97), 95 dosages de RBP ont été effectués.

Chez les sujets chez lesquels les dosages de RBP n'ont pu être effectués, les valeurs de cadmiurie sont les suivantes : pour les sujets exposés, 0,31, 0,11, 0,11 $\mu\text{g/g}$ de créatinine et chez les sujets non-exposés, 0,08 et 0,05 $\mu\text{g/g}$ de créatinine.

6.2. Moyenne et caractéristiques de la distribution sur l'ensemble de l'échantillon et séparément dans les deux groupes

Aucun des dosages de RBP effectués ne dépasse la valeur de 300 $\mu\text{g/g}$ de créatinine (valeur de référence) y compris dans le groupe exposé (*tableau 11*). La moyenne des dosages de RBP était significativement plus élevée dans le groupe exposé par rapport au groupe non-exposé ($p = 0,03$). L'examen de la répartition des sujets en fonction des déciles montre que les valeurs moyennes de cadmiurie étaient plus élevées dans chaque décile dans le groupe exposé par rapport au groupe non-exposé (*tableau 12*). De plus, le nombre des valeurs de RBP se trouvant au delà du 99^{ème} percentile était similaire dans les deux groupes (*Figure 1*).

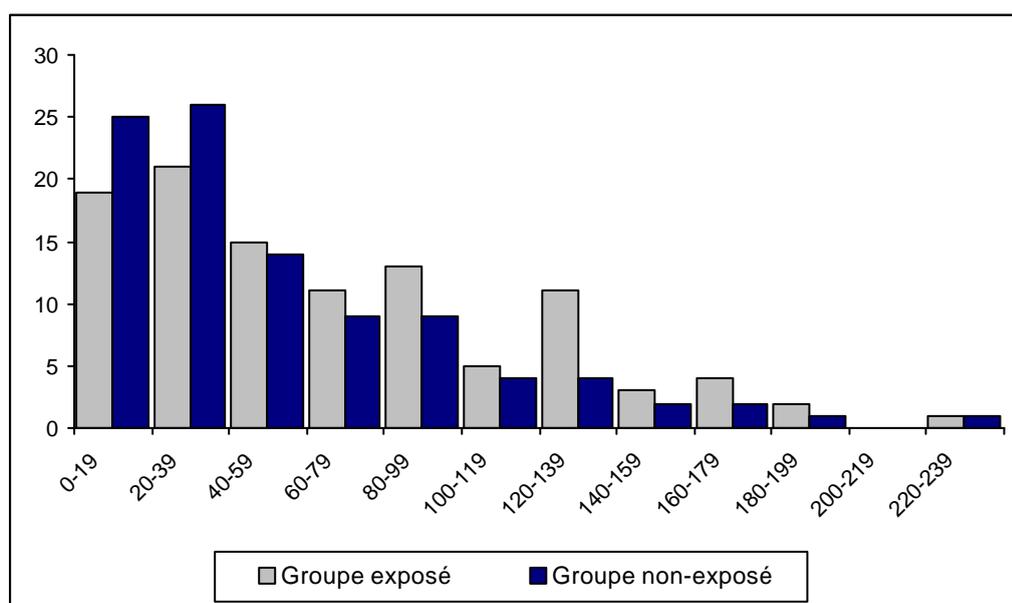
Tableau 11. Dosages de RBP rapportés à la créatinine (exprimés en $\mu\text{g/g}$)

	Moyenne	N	Ecart-type	Minimum	Maximum	Médiane	Moyenne géométrique
Exposés	67,9	102	52,0	5,59	237,5	55,0	47,5
Non-exposés	52,2	95	47,7	6,70	234,6	37,5	35,1
					6		
Total	60,3	197	50,5	5,59	237,5	43,5	41,1

Tableau 12. Distribution des dosages de RBP en fonction des déciles

Centiles	Groupe	Exposé	Non-exposé
	Manquante	3	2
10		12,0	9,1
20		20,2	13,1
30		26,6	20,6
40		41,3	28,0
50		55,0	37,5
60		72,4	44,0
70		87,0	62,3
80		120,3	84,7
90		143,7	128,0

Figure 1. Histogrammes des valeurs de RBP rapportées à la créatinine séparément dans les deux groupes d'exposition.



6.3. Analyse de corrélation entre la cadmiurie et la RBP

Une analyse de corrélation entre la cadmiurie et la RBP a été effectuée après transformation logarithmique des deux variables. En effet, la variable RBP étant très distribuée de façon très dissymétrique à gauche, sa distribution n'est pas normale : après transformation logarithmique, sa distribution devient à peu près symétrique.

Lorsque l'analyse porte sur l'ensemble des enfants, les coefficients de corrélation sont faibles mais significatifs (*tableau 13*). Lorsque l'analyse porte sur le groupe exposé uniquement, les coefficients sont encore plus faibles et non significatifs.

Tableau 13. Corrélation entre les dosages de cadmiurie et ceux de RBP chez les enfants

	Cadmiurie (log)	
	Pearson	Spearman
Dans les deux groupes d'enfants		
RBP (log)	0,18 (p=0,014)	0,20 (p=0,005)
Chez les enfants exposés uniquement		
RBP (log)	0,03 (p=0,74)	0,01 (p=0,9)

6.4. Analyses de régression univariées

Celles-ci ont été effectuées sur la variable RBP log-transformée. Le modèle utilisé est le modèle linéaire généralisé (GLM). Les résultats sont les suivants :

- Sexe : p = 0,06 ;
- Age : p = 0,05 (diminution avec l'âge de la RBP) ;
- Profession du père : NS ;
- Profession de la mère : p = 0,004 (augmentation chez les mères sans activité) ;
- Lieu de résidence : p = 0,004 (augmentation significative chez les résidents de la zone exposée mais pas chez les résidents des créneaux) ;
- Exposition au tabagisme passif (en oui/non) : p = 0,07 (diminution de la RBP quand tabagisme passif).

6.5. Analyse de régression multiple

Le modèle 1 ci-dessous, teste le lien entre la RBP (variable expliquée) et la cadmiurie en ajustant sur les variables suivantes : « sexe », « âge », « mères au chômage », « mères sans activité », tabagisme passif et zone de résidence.

Le modèle 2 teste aussi le lien entre la RBP et la cadmiurie après ajustement sur les mêmes variables que dans le modèle 1 mais sans la variable « zone de résidence ».

Aucune association n'est mise en évidence dans ces deux modèles entre les dosages de RBP et la cadmiurie (tableau 14). Lorsque les mêmes modèles sont testés dans le groupe exposé uniquement, aucune association n'est mise en évidence entre les RBP et les cadmiuries.

Tableau 14. Analyses de régression multiple chez l'ensemble des enfants

Variable	Modèle 1		Modèle 2	
	Paramètre standardisé	p	Paramètre standardisé	p
Sexe	0,15	0,03	0,14	0,05
Age	-0,11	0,12	-0,12	0,11
Mères au chômage	0,10	0,19	0,06	0,42
Mères sans activité	0,16	0,04	0,19	0,02
Résidence en zone exposée	0,24	0,003	--	--
Résidence Créneaux	-0,17	0,83	--	--
Tabagisme passif	-0,19	0,007	-0,12	0,08
Cadmiurie	0,01	0,85	0,06	0,41

6.6. Discussion

Les valeurs de RBP corrigées chez les enfants sont toutes normales (valeur de référence 300 microgrammes par gramme de créatinine).

Cependant, l'analyse montre que les valeurs de RBP sont plus élevées chez les enfants du groupe exposé que chez les enfants du groupe témoin. Ceci n'est pas lié à des valeurs extrêmes qui tireraient la distribution vers le haut chez les exposés : le nombre des valeurs les plus élevées est équivalent chez les exposés et non-exposés ; le décalage des valeurs de RBP entre exposés et non-exposés est observé dans tous les déciles.

L'analyse de corrélation entre la RBP urinaire et la cadmiurie montre des coefficients de corrélation faibles, bien que significatifs.

L'analyse de régression multiple, ajustée sur l'âge, le sexe, la profession de la mère et le tabagisme passif (variables significatives ou à la limite de la signification en univarié) ne montre pas d'association entre la RBP urinaire et la cadmiurie (variable quantitative) pour l'ensemble des enfants. L'ajout, dans le modèle, de la zone de résidence ne modifie pas ce résultat.

En conclusion, les dosages de RBP urinaire (corrigés) chez les enfants ne sont pas associés à la cadmiurie. La différence entre les moyennes de RBP entre les deux groupes est vraisemblablement liée à d'autres facteurs : l'analyse a en particulier montré que les deux groupes différaient selon certaines variables sociodémographiques.

7. Conclusion

Au total, cette étude a montré chez les enfants des deux écoles que les valeurs de cadmiurie observées étaient toutes inférieures à la valeur de référence de 2 µg/g de créatinine. De ce point de vue, les résultats de cette analyse sont tout à fait rassurants. En revanche, cette étude a aussi montré que les cadmiuries étaient significativement supérieures chez les enfants de l'école Saint-Louis que chez ceux de l'école témoin. Ce résultat montre que l'exposition des premiers a conduit à des niveaux d'imprégnation mesurables.

7.1. Caractéristiques sociodémographiques

La comparaison des deux zones montre qu'il existe quelques différences sur le plan sociodémographique entre les familles des enfants fréquentant l'école Saint-Louis et celles des enfants fréquentant l'école témoin. En effet, le niveau d'études des parents était plus élevé dans la zone témoin que dans la zone exposée. Mais le niveau d'études n'était pas associé à la cadmiurie. En revanche, les enfants dont le père ou la mère travaillait avaient une cadmiurie significativement plus basse, notamment au sein du groupe exposé. Ceci a impliqué, lors des comparaisons entre les deux groupes, un ajustement sur ces facteurs. Après cet ajustement, une différence significative entre les cadmiuries dans les deux groupes était toujours observée. En revanche, peu de différences ont été observées entre les deux groupes, concernant les facteurs de risque potentiels d'exposition au cadmium, en dehors bien sûr de la scolarisation et de la résidence des enfants dans la zone exposée.

7.2. Facteurs de confusion potentiels

Le comportement mains-bouche était significativement plus fréquent chez les enfants exposés que chez les enfants de la zone témoin ; la consommation de poissons et de crustacés était plus fréquente chez les enfants ayant fréquenté l'école témoin au cours de l'année scolaire 1999-2000. Compte-tenu des résultats et des connaissances issues de la littérature concernant ces facteurs, ils ont été pris en compte comme facteurs de confusion potentiels dans l'analyse de régression multiple. L'exposition des parents au cadmium dans leurs activités professionnelles ou de loisirs était significativement plus fréquente chez les parents des enfants de l'école Saint-Louis que chez les parents des enfants de l'école témoin. Bien qu'une association entre cette variable et la cadmiurie n'ait pas été observée, elle a été aussi prise en compte dans l'analyse de régression multiple. En ce qui concerne l'exposition passive des enfants au tabac, une différence n'a pas été observée entre les deux groupes ni une association avec la cadmiurie. Mais l'exposition au tabac étant une source potentielle d'imprégnation au cadmium, là encore, ce facteur a été pris en compte dans l'analyse de régression multiple.

7.3. Comparaison exposés/non-exposés

Cette étude a permis d'objectiver une surimprégnation des enfants scolarisés dans l'école Saint-Louis située à proximité du site. Cependant, les valeurs observées sont rassurantes en matière de risque sanitaire puisque toutes sont nettement inférieures au seuil communément admis chez l'adulte (2 µg/g de créatinine), comme étant un niveau au dessus duquel apparaît un risque d'observer des troubles rénaux.

De plus, les dosages de RBP urinaire montrent que les valeurs sont faibles et inférieures à la normale dans les deux groupes. Aucune association n'est mise en évidence entre les dosages de RBP urinaires et les cadmiuries.

Les résultats de cette étude posent la question de l'exposition de la cité des Créneaux : en effet, les cadmiuries des enfants de la cité des Créneaux, qui ne semblait pas exposée au vu des résultats de la modélisation, sont aussi élevées que celles de la zone exposée. Ce résultat est conforté par d'autres :

- Une augmentation très significative de la cadmiurie avec le temps de résidence dans la zone exposée, en incluant la cité des Créneaux, est observée, après ajustement sur l'âge ;
- Lorsque l'analyse de régression multiple est restreinte aux seuls enfants de l'école Saint Louis, le fait d'habiter dans la cité des Créneaux reste significativement associé à une cadmiurie augmentée, même après ajustement sur l'ensemble des facteurs de confusion potentiels.

Cependant, il reste difficile de distinguer, dans ces résultats, ce qui résulte de l'exposition par inhalation du fait de la fréquentation de l'école Saint Louis, très proche du site de TLM du rôle de l'exposition via le lieu de résidence.

Dans ces conditions, le Comité Scientifique a recommandé que des **mesures environnementales complémentaires** soient effectuées dans la cité des Créneaux (non couverte jusqu'ici) afin de vérifier les niveaux de contamination potentielle par le cadmium. L'hypothèse a également été soulevée de la fréquentation par des parents des enfants de la cité des Créneaux des jardins ouvriers de la SNCF, pour lesquels les mesures environnementales ont objectivé une contamination par le cadmium. Le Service Environnement de la ville de Marseille s'est chargé de réaliser une enquête sur ce point pour identifier les personnes utilisant les jardins SNCF et déterminer où celles-ci résident plus fréquemment. Ses conclusions devront être remises à la DDASS. Les données sur l'exposition des enfants au cadmium en France sont peu nombreuses. Deux études ont été conduites par l'InVS à Bourg Fidèle (Ledrans, 1999) et dans la région de Salsigne (Frery, 1997) lors desquelles des dosages de cadmium urinaire ont été réalisés respectivement chez l'enfant et l'adulte du fait d'une exposition potentielle au cadmium. A Bourg Fidèle, la moyenne géométrique des enfants inclus (n=84) était de 0,25 µg/g et la moyenne arithmétique de 0,48 (écart-type de 0,54). A Salsigne la moyenne géométrique était de 0,30 µg/g et l'écart-type était un peu inférieur à celui observé à Bourg Fidèle. Les résultats de la présente étude dans le quartier Saint-Louis montrent des moyennes géométriques et arithmétiques de cadmiurie inférieures (0,16 et 0,20 respectivement) à celles observées dans ces deux études précédentes. Ceci est a fortiori constaté aussi pour la zone témoin.

7.4. Autres constats

En termes de risque sanitaire, la présente étude met en évidence un résultat préoccupant : il concerne l'exposition passive au tabac. En effet, 61 % des enfants (pour les deux écoles comprises), étaient exposés à au moins un fumeur dans leur proche entourage et, parmi eux, un peu plus d'un quart (27 %) était exposé à plus de 10 cigarettes fumées par jour par un proche.

VI. Résultats de l'étude épidémiologique chez les adultes

1. Description de la population

1.1. Sujets inclus et exclus

Au total, 325 adultes ont répondu au questionnaire d'enquête. Par la suite, 18 personnes ont été exclues de l'étude. Au total, 307 personnes ont participé à l'étude.

Parmi les 18 personnes exclues, 3 d'entre elles ne possédaient pas de résultats d'analyse urinaire de cadmium. Il s'agit de 3 personnes non-exposées habitant à La Rose (2 femmes de 41 et 47 ans et 1 homme de 32 ans).

Conformément au protocole d'étude, les valeurs de concentration urinaire en cadmium ($\mu\text{g/g}$ de créatinine) pour lesquelles la créatinine est inférieure à 0,3 g/l (10 individus) ou supérieure à 3 g/l (4 individus) ont été exclues.

Par ailleurs, une personne ne répondait pas aux critères d'inclusion et a été exclue. Il s'agit d'une femme de 57 ans, travaillant à l'école Saint-Louis Gare et faisant partie du groupe exposé.

1.2. Groupes de personnes inclus

Trois groupes de personnes ont été inclus dans l'étude : les personnels de l'école Saint-Louis Gare, les résidents de la zone exposée du quartier Saint-Louis et ceux du quartier de La Rose.

Tableau 1. Répartition des personnes de l'étude selon leur profil d'exposition

Profils d'exposition	n	%
1- Personnel de l'école Saint-Louis gare	20	6,5
2- Résidents à Saint-Louis (zone exposée)	179	58,3
3- Résidents à La Rose (zone non-exposée)	108	35,2
Total	307	100

1.2.1. Personnel de l'école (n=20)

Toutes les personnes appartenant au personnel de l'école située à proximité de l'usine TLM répondent au critère d'inclusion « rentrée avant Septembre 1999 ». Parmi elles, seules 7 travaillent encore à l'école, une personne n'y travaille plus depuis 13 ans.

- Durée de travail dans l'école

En moyenne, la durée d'activité du personnel dans l'école est supérieure à 6 ans ($m=6,3$ $sd=6,6$, sd : déviation standard) allant de moins d'un an à 28 ans.

- Age moyen du personnel de l'école

L'âge moyen du personnel inclus dans l'étude est de 39 ans ($m=39,0$ $s=10,9$). La personne la plus jeune a 24 ans et la plus âgée 62 ans.

- Domicile

Deux personnes ont leur domicile principal dans le quartier Saint-Louis mais non situé dans la zone d'étude ; les 18 autres n'habitent ni à Saint-Louis ni à La Rose.

Deux personnes ont habité auparavant dans le quartier Saint Louis, respectivement durant 22 ans et 7 ans, cette dernière ayant résidé à Saint-Louis hors de la zone d'étude.

1.2.2. Résidents à Saint-Louis (n=179)

a) Toutes les personnes résidant à Saint-Louis dans la zone d'étude et non propriétaires de jardin potager ($n=146$) répondent aux critères d'inclusion « âgé d'au moins 35 ans » et « temps de résidence supérieur ou égal à 10 ans ».

- Age moyen

L'âge moyen de ces personnes est d'environ 59 ans ($m=58,7$ $sd=14,3$). La personne la plus jeune est âgée de 35 ans et la plus âgée de 92 ans.

- Domicile

La moyenne de durée d'habitation dans le quartier Saint-Louis est de l'ordre de 23 ans. La durée minimale est de 4 ans et celle maximale de 68 ans. Plus d'un tiers avaient leur domicile antérieur à Saint-Louis avec une moyenne de durée d'habitation de 15 ans.

En fait, 14 personnes auraient une durée d'habitation inférieure à 10 ans dans leur domicile actuel, ce qui contredit le critère d'inclusion « temps de résidence supérieure ou égal à 10 ans ». Cependant, l'étude de la durée totale d'habitation dans le quartier Saint-Louis (cumul des durées antérieures et actuelles) montre que seules 4 personnes restent hors critères avec des durées d'habitation de 9 ans. Etant donné la difficulté rencontrée pour le recrutement des personnes, celles-ci ont été retenues dans l'étude.

b) Toutes les personnes propriétaires d'un jardin potager ($n=33$) répondent au critère d'inclusion « âgé d'au moins 35 ans ». Certaines d'entre elles ont résidé dans la zone d'étude pendant une période inférieure à 10 ans.

- Age moyen

L'âge moyen de ces personnes est d'environ 54 ans ($m=53,9$ $s=14,5$). Une personne est âgée de 34 ans mais a eu 35 ans dans l'année 2000, elle reste incluse. La personne la plus âgée a 82 ans.

- Domicile

Toutes les personnes propriétaires d'un jardin potager à Saint-Louis ont leur domicile situé à Saint-Louis dans la zone d'exposition.

La moyenne de durée d'habitation est de 18,7 ans (sd=16,5). Le minimum de cette durée étant de 2 ans et le maximum de 63 ans.

c) Lorsqu'on considère l'ensemble des résidents de Saint-Louis de la zone d'étude, propriétaires ou non de jardin potager, voici comment se répartit la durée d'habitation.

Tableau 2. Distribution de la durée d'habitation en zone exposée

Durée d'habitation en zone exposée	Moy.	Ecart-type	Min.	Max.	P5	P25	P50	P75	P95
Actuelle à St Louis	22,62	13,59	2,17	68,11	5,73	11,07	18,88	34,37	44,60
Actuelle et antérieure à St Louis	26,18	14,78	2,17	73,03	7,73	13,71	23,75	38,23	48,02

p : percentile

En fait, l'interview a révélé que parmi les résidents de Saint Louis, 65 d'entre eux (soit 36,3 %) possèdent un jardin (d'agrément ou bien potager ou bien un verger).

La fréquentation de l'école Saint-Louis Gare dans l'enfance n'est pas un facteur de risque pertinent puisque les émissions de cadmium ont eu lieu essentiellement à partir de 1980.

1.2.3. Résidents à La Rose (n=108)

Toutes les personnes résidant à La Rose répondent aux critères d'inclusion « âgé d'au moins 35 ans » et « temps de résidence supérieur ou égal à 5 ans ».

Ce dernier critère a du être modifié en cours d'étude. En effet, le temps de résidence devait répondre au même critère que celui des résidents de Saint-Louis (durée d'habitation supérieure ou égale à 10 ans). Etant donné la difficulté rencontrée pour le recrutement des personnes et après s'être assuré qu'il n'y avait pas de différence socio-économique entre les 2 groupes, il a été décidé de réduire ce temps de résidence à 5 ans minimum.

- Age moyen

L'âge moyen de ces personnes est d'environ 54 ans (m=54,1 sd=14,1). Deux personnes sont âgées de 34 ans mais ont eu 35 ans dans l'année 2000, elles restent donc incluses. La personne la plus âgée a 85 ans.

- Domicile

Toutes ces personnes résident dans la zone non-exposée du quartier La Rose avec une durée moyenne d'habitation dans leur dernier logement de plus de 19 ans (m=19.7 s=11.1). La durée minimale est de moins d'un an et la durée maximale de 52 ans. En fait, 5 personnes habitent leur domicile actuel depuis moins de 5 ans, ce qui va à l'encontre du critère d'inclusion. Ces personnes

ont résidé au moins 5 ans dans le quartier de La Rose en tenant compte des différents logements occupés. Elles restent incluses dans l'étude.

Tableau 3. Distribution de la durée d'habitation en zone non-exposée

Moy.	Ecart-type	Min.	Max.	P5	P25	P50	P75	P95
19,68	11,06	0,42	52,79	5,11	10,5	17,85	27,82	38,23

p : percentile

Seule 1 personne a habité auparavant à Saint-Louis pendant 2 ans, mais hors de la zone d'étude.

Les habitants du quartier de La Rose n'ont pas consommé de légumes provenant de la zone exposée de Saint-Louis en 1999 (année où un pic important de cadmium a été relevé).

1.3. Répartition exposés/non-exposés

La population définie comme exposée comprend le personnel de l'école, les résidents de Saint-Louis inclus dans la zone d'étude, dont les propriétaires d'un jardin potager.

Les personnes non-exposées résident toutes dans le quartier de La Rose.

Les personnes exposées représentent approximativement les 2/3 de la population d'étude. La participation indique que nous n'avons obtenu pour les groupes exposés et non-exposés respectivement que 76,5 % et 83,1 % des effectifs initialement prévus.

Tableau 4. Distribution des exposés et non-exposés obtenus dans l'étude et prévus initialement

	Effectifs obtenus	Effectifs attendus	Effectifs obtenus/attendus
Exposés (E)	199	260	76,5 %
Non-exposés (NE)	108	130	83,1 %
Total	307	390	100 %

2. Description sociodémographique

Le tableau 5 présente les caractéristiques socio-démographiques des adultes dans les groupes exposés et non-exposés, en distinguant les résidents de Saint-Louis et le personnel de l'école. Ces derniers présentent en effet des caractéristiques sociodémographiques qui leur sont propres.

Quand on compare les résidents de Saint-Louis à ceux de La Rose, on n'observe pas de différence significative d'âge, de sexe, de situation ou de catégorie socioprofessionnelle entre les 2 groupes.

En revanche, le niveau d'études semble un peu plus faible à Saint Louis.

Concernant les conditions d'habitation (durée d'habitation dans le logement, type d'habitation, date de construction du logement), on note quelques différences entre les 2 groupes excepté pour la durée d'habitation dans le logement.

En effet, les personnes exposées résidant dans le quartier Saint-Louis occupent plus fréquemment que les personnes non-exposées des pavillons ou maisons individuels qui ont par ailleurs été construits en majorité avant 1945.

Les personnes non-exposées résidant dans le quartier de La Rose habitent pour la plupart dans des immeubles collectifs de construction récente.

La composition des foyers ne diffère pas notablement entre les 2 groupes. Quand on compare les moyennes du nombre de personnes adultes ou enfants par foyer, on ne constate pas de différence. Par contre, quand on étudie les distributions, on constate que dans les foyers des résidents de Saint Louis, il y a un peu plus d'adultes et moins d'enfants que dans le quartier de La Rose.

En ce qui concerne le personnel de l'école, il apparaît que les caractéristiques sociodémographiques sont très différentes de celles des résidents des quartiers Saint-Louis ou de La Rose. Ce personnel est plus jeune et comprend une proportion de femmes plus importante. Ce sont des personnes plus diplômées, appartenant à une catégorie socioprofessionnelle particulière et présentant une répartition des individus à l'intérieur du foyer (adultes et enfants) différente des deux autres groupes.

Tableau 5. Caractéristiques sociodémographiques des résidents de La Rose et de Saint-Louis et du personnel de l'école

	Non-Exposés		Exposés		Comparaisons	
	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)	
Effectif	108	20	179			
Age (%)						
Moyenne	53,7	38,4	57,2			
Ecart-type	13,8	10,2	14,2	0,001	0,71	
Minimum	34	24	34			
Maximum	85	62	92			
Sexe masculin (%)	46,3	35,0	44,1	0,64	0,72	
Diplômes (%)						
Aucun	29,9	5,0	24,7			
Certificat	15,0	0	25,8			
BEPC/ CAP	36,4	15,0	34,3	0,001	0,10	
Bac	6,5	10,0	9,0			
Bac +	12,2	70,0	6,2			
Niveau d'études (%)						
Aucun	0,9	0,0	5,0			
Primaire	22,4	5,0	28,1			
1 ^{er} cycle	55,1	15,0	45,5	0,001	0,061	
2 ^{ème} cycle	9,4	10,0	15,2			
Bac + 2	7,5	20,0	2,8			
Ens. Supérieur	4,7	50,0	3,4			
Situation professionnelle (%)						
Actif	44,6	90,0	37,4			
Au foyer	5,6	0,0	11,7			
Chômage	7,5	0,0	8,9	0,005	0,392	
Etudiant	0,0	0,0	0,6			
Invalide	5,6	5,0	3,4			
Retraité	36,7	5,0	38,0			
Catégorie socioprofessionnelle (%)						
Cadres	1,9	0,0	2,2			
Employés	27,1	25,0	15,1	0,001	0,270	
Prof. intermédiaires	8,4	65,0	7,8			
Artisans/Commerçants	0,9	5,0	2,2			
Ouvriers	6,6	0,0	10,6			
Autres inactifs	21,5	0,0	26,3			
Retraités	33,6	5,0	35,8			
Années dans le logement actuel (%)						
< 5 ans	4,6	30,0	1,7			
5-9 ans	16,7	25,0	13,9	0,001	0,260	
10 ans	78,7	45,0	84,4			
Type d'habitation (%)						
Maison	25,9	50,0	49,7			
Foyer	0,0	0,0	1,1	0,001	0,001	
Immeuble	74,1	50,0	49,2			

(Suite)	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Nombre de personnes vivant au foyer(%)					
1 personne	13,9	15,0	16,8		
2 personnes	36,1	30,0	50,3	0,032	0,031
3 personnes	23,2	15,0	11,8		
4 personnes	18,5	35,0	12,3		
5 personnes et plus	8,3	5,0	8,8		
Nombre d'adultes vivant au foyer (%)					
1 adulte	20,4	25,0	17,9		
2 adultes	55,6	50,0	63,7	0,49	0,43
3 adultes		10,0	12,8		
4 adultes	17,6	10,0	2,2		
5 adultes et plus	4,7	5,0	3,4		
	1,8				
Nombre d'enfants vivant au foyer (%)					
Aucun enfant	68,5	50,0	78,8		
1 enfant	9,3	30,0	4,5	0,002	0,086
2 enfants	15,7	20,0	10,6		
3 enfants	6,5	0,0	3,9		
4 enfants	0,0	0,0	2,2		

3. Etude de facteurs pouvant influencer la cadmiurie indépendamment de TLM

De nombreux facteurs peuvent contribuer à augmenter l'exposition de l'individu au cadmium même en l'absence de source spécifique de pollution. C'est le cas, entre autres, du tabagisme, de la consommation de produits de la mer ou d'abats. Par ailleurs, les activités professionnelles ou de loisirs peuvent également y contribuer largement. Il importe donc de vérifier que les groupes d'exposition ne diffèrent pas quant à ce type de facteurs, ce qui limiterait alors la possibilité d'observer une différence d'exposition due aux émissions polluantes de l'usine TLM.

3.1. Consommation de tabac

Le tabac constitue la principale source d'exposition par inhalation au cadmium dans la population générale. Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes d'exposition quant à leur situation tabagique (*tableau 6*). Cependant, les personnes du quartier La Rose ont tendance à fumer en moyenne plus de cigarettes par jour que les personnes de la zone exposée de Saint Louis, mais le nombre moyen d'années pendant lesquelles ils ont fumé est plus faible, ce qui se traduit finalement par une consommation cumulée au cours de la vie (exprimée en grammes de tabac par jour x nombre d'années) équivalente dans les divers groupes d'exposition.

L'étude du tabagisme passif montre qu'il est moins présent parmi les résidents de La Rose que parmi ceux de Saint-Louis ou du personnel de l'école (*tableau 7*).

Tableau 6. Tabagisme actif. Consommation tabagique parmi les trois profils d'exposition

Tabagisme actif		RésidentsLa Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif		108	20	179		
Statut tabagique (%)	Fumeur	25,2	25,0	27,9	0,970	0,81
	Ex-fumeur	23,4	25,0	20,7		
	Non-fumeur	51,4	50,0	51,4		
Quantité moyenne de tabac chez les fumeurs et ex-fumeurs par jour						
- Cigarettes	Effectif	50	10	81	0,12	0,29
	Moyenne	20,0	18,4	16,8		
	Ecart-type	8,8	10,7	9,5		
- Pipes (1)	Effectif	5	0	3		0,99
	Moyenne	10,2	-	7		
	Ecart-type	6,6	-	6,9		
- Cigares	Effectif	4	0	5		0,99
	Moyenne	14	-	10,2		
	Ecart-type	11,7	-	6,6		
Années de consommation						
	Effectif	52	10	86	0,03	0,04
	Moyenne	22,3	18,1	26,8		
	Ecart-type	10,19	8,59	13,8		
	Minimum	1	4	2		
	Maximum	53	31	57		
	Q5	8	4,9	5,2		
	Q25	16,7	13,5	18		
	Q50	21,5	19	25,5		
	Q75	26,5	23,5	34,7		
	Q95	40	28,7	53,7		
Nombre de grammes de tabac consommé/j x nb années de tabac chez fumeurs et ex-fumeurs (2)						
	Effectif	52	10	86	0,48	0,76
	Moyenne	546	374,2	521,5		
	Ecart-type	444,5	321,4	483,4		
	Minimum	3	32	12		
	Maximum	1920	930	2700		
	Q5	100,9	41,9	39		
	Q25	281,2	111,5	161,2		
	Q50	382,5	270	360		
	Q75	678,7	585	750		
	Q95	1575,7	862,5	1504,5		

(1) Parmi les consommateurs de pipes :

- mixte cigarettes, pipes, cigares : n=2
- mixte cigarettes et pipes : n=2
- mixte pipes et cigares : n=1

(2) Sachant que : 1 cigarette=1 gramme de tabac, 1 pipe=2 grammes de tabac, 1 cigare=4 grammes de tabac.

Tableau 7. Tabagisme passif parmi les trois profils d'exposition

Tabagisme passif	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Présence de fumeurs dans l'entourage (%)					
<i>Oui</i>	31,8	50,0	46,9	0,032	0,01
<i>Non</i>	68,2	50,0	53,1		
Nombre de fumeurs dans l'entourage (%)					
1			49,9		
2	55,9	30,0	14,6		
+ de 2	20,6	10,0	41,5	0,237	0,18
	23,5	60,0			
Nombre de cigarettes fumées en présence du sujet (%)					
<i>Aucune</i>	8,8	10,0	1,2		
1 à 5/j	26,5	10,0	39,0	0,193	0,15
6 à 10/j	26,5	40,0	22,0		
+ de 10/j	38,2	40,0	37,8		

3.2. Alimentation et boisson

Certains aliments sont naturellement riches en cadmium. C'est le cas, en particulier, des produits de la mer et des abats (huîtres, moules, foie, rognons, poissons, crustacés). Afin de distinguer les consommateurs de ces produits à forte teneur en cadmium, la consommation annuelle cumulée de chacun de ces produits (nombre de jours par an) a été répartie en 3 grandes classes : faible, moyenne et forte consommation (tableau 8).

Les deux groupes de résidents ne diffèrent pas quant à la fréquence moyenne de consommation annuelle de ces produits. Par contre, le personnel de l'école consomme davantage ces aliments. La consigne de leur non consommation la semaine précédant le prélèvement a été très peu suivie et de façon encore plus nette parmi les résidents de La Rose. Par ailleurs, le type d'eau consommée est similaire dans les différents groupes.

Tableau 8. Consommation d'eau et d'aliments riches en cadmium parmi les trois profils d'exposition

	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Consommation d'aliments à risque la semaine avant le recueil des urines (%) (1)	41,7				
Non	58,3	80,0	53,1	0,005	0,061
Oui		20,0	46,9		
Consommation cumulée d'aliments à risque (%) (2)					
Faible	70,1	35,0	76,5	0,001	0,14
Moyenne	29,9	45,0	21,8		
Forte	0,0	20,0	1,7		
Consommation d'aliments à risque (nb de fois/an)					
Moyenne	91,6	170,6	85,3	0,0003	0,76
Ecart-type	62,9	95,9	70,4		
Minimum	0	52	0		
Maximum	248	336	404		
Consommation d'eau (%)					
Robinet	64,5	65,0	57,5		
Minérale	12,1	15,0	17,9	0,701	0,37
Les deux	23,4	20,0	24,6		

(1) : les recommandations alimentaires avant le recueil des urines pour le dosage du cadmium ont globalement été peu suivies notamment chez les personnes non-exposées.

(2) : la variable quantitative consommation cumulée est stratifiée en 3 classes (faible : < 140 j/an ; moyenne : 141 à 280 j/an ; forte : > 280 j/an) afin de définir un type de consommation. Cette répartition a été réalisée en divisant par 3 l'étendue de la distribution allant de 0 à 420 jours.

La consommation d'alcool (tous types d'alcool confondus), qui est classiquement en moyenne plus élevée chez les hommes que chez les femmes, est également similaire parmi les divers profils d'exposition (tableau 9).

Tableau 9. Consommation d'alcool parmi les trois profils d'exposition

Nombre de verres/semaine (1)	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Femmes					
Effectif	57	13	99		
Moyenne	2,6	3,9	3,0		
Ecart-type	5,5	10,4	5,9		
Minimum	0	0	0		
Maximum	23	38,2	38	0,48	0,87
P5	0	0	0		
P25	0	0	0		
P50	0	1	0,5		
P75	2	1,25	3,2		
P95	15,5	18,9	14		
Hommes					
Effectif	50	7	79		
Moyenne	9,2	14,1	9,9		
Ecart-type	13,0	13,6	11,0		
Minimum	0	2,2	0		
Maximum	49	40	49		
P5	0	*	0	0,18	0,41
P25	0	*	0,5		
P50	2	*	7		
P75	11,8	*	16		
P95	37,7	*	29,3		

* trop faible

(1) Sachant qu'en termes de quantité d'alcool : 1 verre de vin = 1 verre de bière (25cl) = 1 canette 33cl de bière x 1.2 = 1 verre d'apéritif doux ou fort = 1 verre de digestif doux ou fort. En effet, on considère que la contenance des verres des différents types d'alcool est inversement proportionnelle à leur concentration en alcool.

3.3. Profession actuelle et/ou antérieure

Le domaine d'activité professionnelle peut constituer une forte source d'exposition au cadmium. La sensibilisation due à la médiatisation de l'enquête a peut-être incité les résidents exposés à être exhaustifs (ou plus sensibilisés) quant à la déclaration de leurs éventuels contacts avec des activités à risque, puisque l'on note 17 évocations de domaine d'activité à risque chez les exposés, contre 4 chez les non-exposés ($p < 0,02$; *tableau 10*).

Tableau 10. Activités professionnelles à risque d'exposition au cadmium

Activités à risque (1)	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a vs b)
Effectif	108	20	179	
Profession actuelle	0	0	8 (2)	0,02
Profession antérieure	4 (3)	0	10 (4)	0,47
Profession actuelle et antérieure	4	0	17	0,07

(1) Activités à risque : soudure, peinture, fabrication de produits anti-corrosion, industrie des alliages, fabrication de batterie.

(2) Ces 8 résidents de Saint-Louis ont une activité régulière de travail dans un ou plusieurs domaines d'activités à risque (jusqu'à 4 types : 5 avec la soudure, 1 avec la peinture, 1 avec la fabrication de produit anti-corrosion, 1 avec l'industrie automobile et la fabrication de batterie).

(3) 4 non-exposés avaient une activité antérieure à risque (3 avec la soudure, 1 avec l'industrie des alliages).

(4) 10 exposés résidents ont eu une activité antérieure à risque (5 avec la soudure, 2 avec la peinture, 1 avec la fabrication de produit anti-corrosion, 1 avec l'industrie automobile, 1 avec la fabrication de batterie).

3.4. Loisirs liés à l'utilisation de cadmium

Les exposés résidents ont plus souvent évoqué des loisirs en rapport avec l'utilisation de cadmium que les non-exposés (17,42 % versus 1,89 % $p < 0,01$, tableau 11), ce qui révèle peut-être un désintérêt des non-exposés pour ce type de question.

Les types de loisirs cités susceptibles d'entraîner une exposition au cadmium comprennent essentiellement 5 domaines : la peinture, le vernis, la soudure et la manipulation de métaux, ainsi que la tapisserie.

Parmi les trois groupes, ces loisirs à risque d'exposition au cadmium sont observés chez 2 personnes de la zone non-exposée (peinture à l'huile), chez 1 personne de l'école (vernis émail et vernissage bois) et chez 31 résidents de Saint Louis. Parmi ces derniers, nombreux sont ceux qui cumulent deux activités de loisirs à risque (13/31).

Le tableau 12 ci-après résume les activités de loisirs à risque chez les résidents de Saint-Louis et indique ceux qui ont des activités multiples.

Tableau 11. Répartition des loisirs à risque de cadmium parmi les trois profils d'exposition

		Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif		106	20	178		
Loisirs (%)	Oui	1,89	10,0	17,42	0,001	0,01
	Non	98,11	90,0	82,58		

Tableau 12. Activités de loisirs à risque de cadmium chez les résidents de Saint-Louis (n=31)

	Peinture	Vernis	Soudure	Tapiserie	Manipulation métaux
Peinture	13				
Vernis	2				
Soudure	5	2	2		
Tapiserie	1			2	
Manipulation métaux	2		1		1

3.5. Utilisation d'engrais phosphatés

Certains engrais phosphatés utilisés dans les jardins étant riches en cadmium, ils peuvent ainsi contribuer à un apport supplémentaire de cadmium en dehors de toute autre source. Il a donc été demandé aux personnes possédant un jardin, si elles utilisaient ce type d'engrais. Malgré des effectifs assez faibles, on note une très faible proportion de propriétaires de jardin de la zone exposée utilisant des engrais phosphatés (4,7 % contre 15,4 % dans la zone non-exposée, (tableau 13).

Tableau 13. Utilisation d'engrais phosphatés parmi les trois groupes d'exposition

	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif des propriétaires de jardin	28	7	65		
Utilisation d'engrais (%)					
Oui	15,4	14,3	4,7		
Non	65,4	71,4	92,1	0,032	0,067
Ne sait pas	19,2	14,3	3,2		

4. Etude des facteurs susceptibles d'être liés à l'exposition de l'usine TLM

Dans le cadre de cette étude, seul le groupe des résidents de Saint-Louis a pu a priori présenter des facteurs particuliers d'exposition aux rejets de cadmium de l'usine TLM. Ainsi, posséder un jardin, un potager, un verger, consommer des produits issus de la zone exposée, avoir un lieu d'activités à Saint-Louis ainsi que le lieu et la durée de résidence ont pu contribuer à augmenter une éventuelle exposition de la population.

4.1. Jardins et consommation de produits issus d'un jardin de la zone exposée

Seules les personnes issues du groupe exposé sont concernées par les facteurs d'exposition liés à la consommation de produits provenant de jardins de la zone exposée.

Dans un premier temps, nous avons vérifié si les groupes différaient sur les caractéristiques liées au jardinage (possession d'un jardin, type de jardin, nombre d'heures de jardinage, consommation de produits du jardin).

Dans un second temps, nous avons étudié les facteurs d'exposition liés au jardin selon les différents types de profil.

4.1.1. Données générales sur les caractéristiques liées au jardinage dans les 3 groupes

Les résidents de Saint-Louis ont déclaré plus souvent être en possession d'un verger, d'un jardin, voire même d'un potager que les résidents de La Rose. Quant aux personnels de l'école, ils ont également déclaré posséder plus fréquemment un verger et un jardin que les résidents de La Rose (tableau 14).

Tableau 14. Répartition des propriétaires de jardin, potager et verger selon le profil d'exposition

	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Famille possédant un jardin (%)					
Non	74,1	65,0	63,7	0,186	0,069
Oui	25,9	35,0	36,3		
Famille possédant un potager (%)					
Non	88,0	90,0	81,6	0,272	0,15
Oui	12,0	10,0	18,4		
Famille possédant un verger (%)					
Non	89,8	75,0	81,0	0,081	0,047
Oui	10,2	25,0	19,0		

Concernant le nombre moyen d'heures de jardinage par semaine pour les propriétaires de jardin (N= 100), on ne retrouve pas de différence significative entre les trois groupes ($p=0,71$), ni entre les résidents de La Rose et ceux de Saint-Louis ($p=0,92$). Cependant les résidents de Saint-Louis ont des valeurs extrêmes plus importantes.

Tableau 15. Nombre moyen d'heures par semaine passées dans les jardin par les propriétaires

	Effectif *	Moyenne	Ecart-type
Résidents La Rose (Non-exposés)	26	5,3	6,1
Personnel école	6	6,3	11,7
Résidents St Louis (Exposés)	59	7,6	12,2

*9 n'ont pas répondu à la question

Tableau 16. Distribution du nombre moyen d'heures par semaine passées dans le jardin par les propriétaires résidant à La Rose et à Saint Louis

	Moy.	Ecart type	Min.	Max.	P5	P25	P50	P75	P95
Résidents La Rose	5,3	6,1	0	20	0,13	1	2	6,75	18,78
Résidents St Louis	7,6	12,2	0	70	0	1	3	8	30,6

p : percentile

4.1.2. Consommation de fruits et/ou de légumes selon le profil d'exposition

Les habitudes de consommation de fruits et légumes du jardin semblent similaires dans les deux zones. Le tableau 17 indique que les résidents de La Rose n'ont pas consommé de produits issus de la zone autour de l'usine TLM et précise la fréquence de consommation des résidents de Saint Louis. On observe, par ailleurs, qu'une très faible proportion des produits de la zone exposée a été consommée la semaine précédant le prélèvement urinaire (3,4 %). Plus d'un tiers des personnes exposées consomme de la menthe provenant de la zone exposée.

Tableau 17. Consommation de fruits et légumes parmi les trois profils

	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a-b-c)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Consommation de fruits et légumes issus du jardin en 1999 (%)					
Non	30,8	28,6	32,8	0,963	0,85
Oui	69,2	71,4	67,2		
Consommation fruits/légumes issus du jardin d'un ami					
Non	71,4	85,0	46,7	0,211	0,13
Oui	28,6 (1)	15,0 (2)	20,7 (3)		
Consommation de fruits et légumes cultivés dans la zone exposée en 1999 (%)					
Jamais	100,0	100,0	70,4	0,001	0,001
Rarement	0,0	0,0	13,4		
Plusieurs fois/mois	0,0	0,0	8,9		
Souvent	0,0	0,0	7,3		
Consommation de menthe cultivée dans la zone exposée (%)					
Non	100,0	70,0	60,3	0,001	0,001
Oui	0,0	30,0	39,7		
Consommation fruits/légumes cultivés dans la zone exposée une semaine avant recueil des urines *					
Non	100,0	100,0	96,6	0,112	0,112
Oui	0,0	0,0	3,4		

* Les 6 exposés résidents qui ont consommé des fruits et légumes une semaine avant le recueil des urines possèdent tous un jardin

- (1) 30 non-exposés ont consommé des fruits et légumes issus du jardin d'un ami en 1999 mais les jardins sont tous situés hors Saint Louis.
- (2) 3 personnes de l'école ont consommé des fruits et légumes issus du jardin d'un ami en 1999, mais les jardins sont situés hors Saint Louis.
- (3) 37 résidents exposés ont consommé des fruits et légumes issus du jardin d'un ami en 1999 dont : 30 dans Saint-Louis en zone exposée, 3 à Saint-Louis en zone non-exposée, 3 hors Saint Louis, 1 non-réponse.

Parmi les résidents de Saint Louis, le tableau 18 suivant présente la fréquence de consommation des produits de la zone exposée selon qu'ils possèdent ou non un jardin. Comme on pouvait s'y attendre les personnes propriétaires d'un jardin potager à Saint-Louis consomment plus souvent que les autres des fruits et légumes cultivés dans la zone exposée.

Tableau 18. Fréquence de consommation de fruits et légumes selon la possession ou non d'un jardin

Consommation de fruits et légumes dans zone exposée en 1999	Pas de jardin	Possède un jardin	P
Jamais	90,4	35,4	0,001
Rarement	7,0	24,6	
Plusieurs fois/mois	2,6	20,0	
Souvent	0,0	20,0	

Chez les résidents exposés, 8 sujets ont modifié leur réponse lorsque est apparu dans la question le mot "exposition" :

- Consommation fruits et légumes du potager : oui ;
- Consommation fruits et légumes de la zone exposée : jamais.

4.1.3. Consommation de lapins et/ou volailles provenant de la zone exposée

Seulement 5 personnes en ont consommé durant l'année (de 1 à 5 fois dans l'année). Elles font toutes partie du groupe exposé (4 propriétaires de jardin potager à Saint-Louis et 1 personne résidant à Saint Louis).

Une semaine avant le recueil urinaire, une personne aurait consommé du lapin ou de la volaille issue de la zone exposée. Il s'agit d'une personne non-exposée habitant La Rose.

4.2. Activités effectuées à Saint-Louis

Le tableau suivant présente parmi les trois groupes d'exposition la répartition des individus dont le lieu de travail est situé à Saint-Louis et donc susceptible de favoriser une contamination par le cadmium.

Tableau 19. Répartition des personnes des trois groupes selon leur activité actuelle ou antérieure à Saint Louis

	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)
Effectif	108	20	179
Activité actuelle à St Louis	0	7	9
Activité antérieure à St Louis	0	14	20
Activité actuelle ou antérieure à St Louis	0	20	27
Activité actuelle ou antérieure à St Louis depuis 1980*	0	20	22

*1980 correspond environ à la date à partir de laquelle l'émission de cadmium par l'usine TLM a été importante

4.2.1. Lieu de l'activité actuelle

Rappelons que 48 résidents de La Rose sur 108 (44,4 %), 18 personnels de l'école sur 20 (90 %) et 67 résidents de Saint-Louis sur 179 (37,4 %) ont actuellement une activité.

Vingt deux pour cent (15 sur 67) des résidents exposés ont leur lieu de travail situé à Saint-Louis (dont 8 dans la zone exposée), contre 39 % (7 sur 18) pour le personnel de l'école et 0 % (0 sur 48) pour les témoins.

En fonction du quadrillage de la zone exposée (cf. *figure*), l'emplacement du lieu de travail actuel situé à Saint-Louis dans la zone d'étude a pu être indiqué.

Tableau 20. Emplacement du lieu de travail actuel situé dans la zone exposée à Saint-Louis (cf. carte)

Maillage	Résident de Saint Louis	Personnel de l'école	
A5	1		
B5	1		
C1	1		
C4	1		
C6	1		
D4	1	7	Lieu d'implantation de l'usine TLM
D5	3		
Hors Zone	5		
Zone entière*	1		
Total	15	7	

Activité impliquant un déplacement dans toute la zone

4.2.2. **Activité à l'extérieur de locaux pendant plus de 50 % du temps dans le quartier Saint Louis**

Vingt sept pour cent (7 sur 26) des exposés résidents exercent une activité à l'extérieur des locaux durant plus de 50 % du temps dans le quartier Saint Louis, contre 5,8 % (1 sur 7) chez les non-exposés.

4.2.3. **Activité antérieure à l'activité actuelle dans le quartier Saint-Louis**

Parmi les 133 exposés résidents ayant exercé une activité antérieure, 31 avaient leur lieu de travail situé dans le quartier de Saint-Louis (dont 20 dans la zone exposée) et 1 ne situe pas son lieu de travail.

Parmi les 17 membres du personnel de l'école ayant eu une activité antérieure, 14 avaient pour lieu de travail l'école Saint-Louis Gare.

Aucun sujet non-exposé n'a exercé son activité antérieure à Saint Louis.

Notons qu'une personne non-exposée n'a pas répondu aux questions relatives à l'activité professionnelle et de loisirs.

Tableau 21. Emplacement des lieux d'activité antérieure à l'activité actuelle situés à Saint-Louis (cf. carte)

Maillage	Résidents St Louis	Personnel de l'école	
C1	2		
C3	2		
C4	3		
C5	1		
C7	1		
D4	3	14	Lieu d'implantation de l'usine TLM
D5	5		
D6	2		
D7	1		
Hors Zone	7		
.	4		
Total	31	14	

4.2.4. Activité actuelle et antérieure dans le quartier Saint-Louis depuis 1980

Le tableau 22 indique l'emplacement du lieu d'activité actuel et antérieur des résidents à l'intérieur de la zone exposée de Saint-Louis depuis 1980, date à partir de laquelle l'usine TLM aurait émis du cadmium.

Tableau 22. Emplacement des lieux d'activité actuelle et antérieure situés à Saint-Louis depuis 1980

	Résidents St Louis	
A1	1	
B5	1	
C1	2	
C3	2	
C4	2	
C5	1	
C6	1	
D4	2	Lieu d'implantation de l'usine TLM
D5	7	
D6	2	
D7	1	
Hors Zone	11	
.	4	
Total	37	

La durée de l'activité depuis 1980 en zone exposée est en moyenne de 11 à 12 ans et présente des variations qui sont présentées dans le tableau 23.

Tableau 23. Durée de l'activité depuis 1980 en zone exposée

Moy.	Ecart type	Min.	Max.	P5	P25	P50	P75	P95
11,63	5,99	2,45	20,83	2,48	8,37	10,96	15,21	20,83

4.3. Lieu et durée de résidence à Saint-Louis

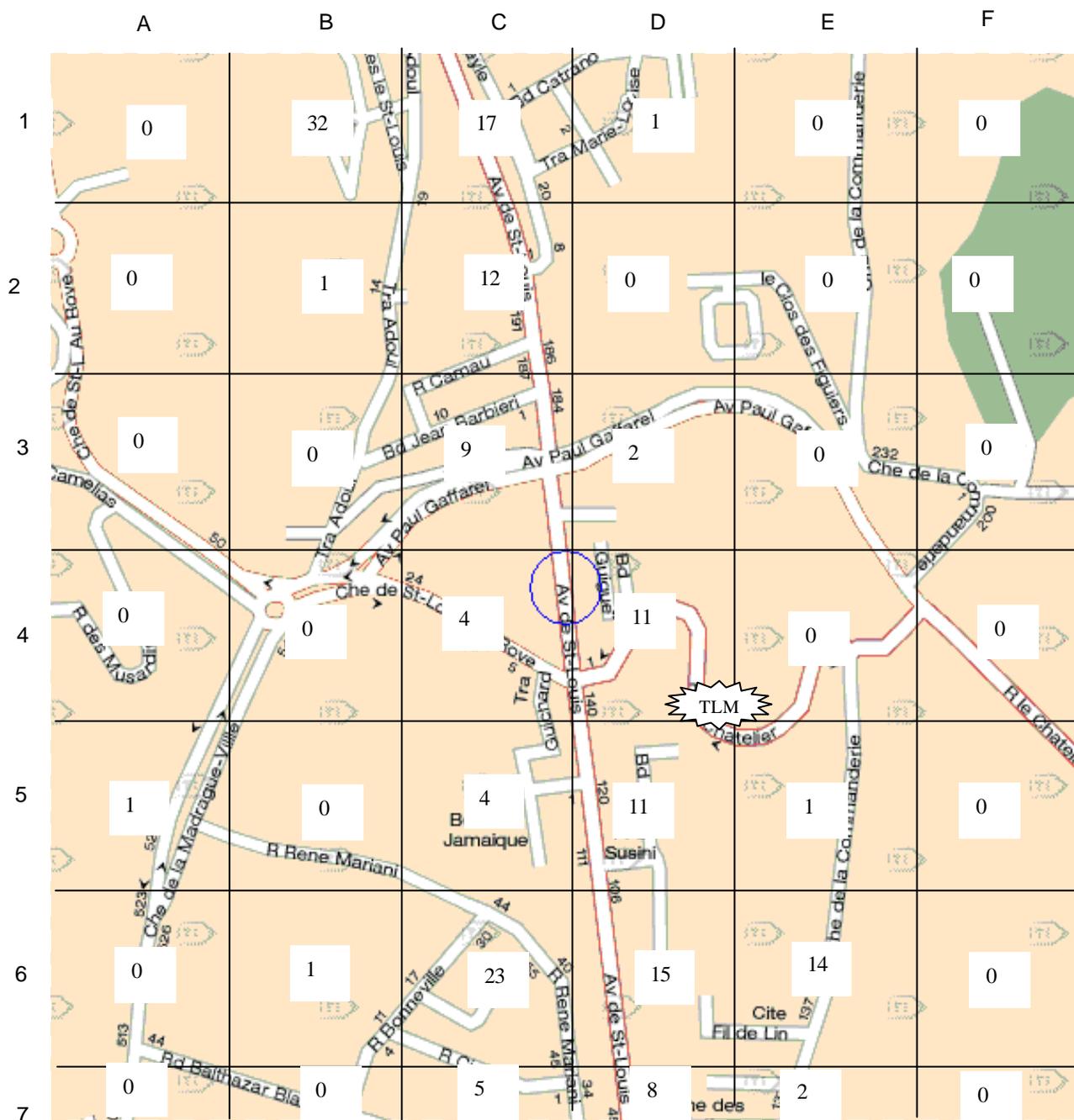
4.3.1. Lieu de la résidence actuelle

Le tableau suivant indique le lieu de résidence actuel en fonction du maillage effectué sur la zone d'étude. L'usine TLM est située dans la maille D4.

Tableau 24. Lieu de la résidence actuelle en zone exposée

Domicile actuel	n	%	
A5	1	0,56	
B1	32	17,88	
B2	1	0,56	
B6	1	0,56	
C1	17	9,50	
C2	12	6,70	
C3	9	5,03	
C4	4	2,23	
C5	4	2,23	
C6	23	12,84	
C7	5	2,79	
D1	5	2,79	
D3	2	1,12	
D4	11	6,15	Lieu d'implantation de l'usine TLM
D5	11	6,15	
D6	15	8,38	
D7	8	4,47	
E5	1	0,56	
E6	14	7,82	
E7	2	1,12	
Hors Zone	1	0,56	Mais travaille 8 h/jour dans D4 depuis 10 ans
TOTAL	179	100	

On remarque que le plan d'échantillonnage n'a pas permis une répartition uniforme des résidents au sein de la zone de Saint Louis, vraisemblablement en raison de variations importantes de densité de population. On note une forte proportion de personnes en B1, maille située à la limite de la zone d'étude, correspondant à une résidence fortement peuplée.



x Nombre de sujets inclus dans la maille

Figure 2. Nombre de sujets inclus dans chaque maille (1 sujet hors zone). (La limite de la zone d'étude est précisée sur la carte de la figure 1, cf. méthodes)

4.3.2. Lieu de la résidence antérieure

Quarante sujets avaient leur domicile antérieur en zone exposée.

Tableau 25. Lieu de la résidence antérieure en zone exposée

Domicile antérieur	n	%	
A5	1	0,56	
B1	4	2,33	
B3	1	0,56	
B4	1	0,56	
B5	1	0,56	
C1	6	3,35	
C2	1	0,56	
C3	4	2,23	
C4	1	0,56	
C6	3	1,67	Lieu d'implantation de TLM
D1	2	1,12	
D3	2	1,12	
D4	3	1,67	
D5	2	1,12	
D6	3	1,67	
D7	1	0,56	
E2	1	0,56	
E4	1	0,56	
E6	2	1,12	
Hors Zone	22	12,30	Quartier Saint Louis, mais non-exposé
Hors St Louis	117	65,36	
TOTAL	179	100	

4.3.3. Durée de résidence

La durée d'habitation dans la zone exposée est en moyenne assez importante. Quand on s'intéresse à cette durée d'habitation depuis 1980, date d'émission de cadmium par TLM, on remarque que 50 % des personnes de l'étude y réside depuis plus de 20 ans.

Tableau 26. Distribution de la durée d'habitation actuelle, antérieure et depuis 1980 en zone exposée

Durée d'habitation en zone exposée	Moy.	Ecart type	Min.	Max.	Q5	Q25	Q50	Q75	Q95
actuelle à St Louis	22,62	13,59	2,17	68,11	5,73	11,07	18,88	34,37	44,60
actuelle et antérieure à St Louis	26,18	14,78	2,17	73,03	7,73	13,71	23,75	38,23	48,02
à St Louis depuis 1980	17,29	4,78	2,16	20,92	7,73	13,71	20,48	20,81	20,89

5. Résumé – comparaison des 3 types de population

En résumé, la comparaison des trois groupes de la population d'étude – résidents de La Rose non-exposés aux rejets de l'usine TLM, personnel de l'école et résidents de St Louis, exposés aux rejets de l'usine TLM – est présentée dans les tableaux suivants.

1/ les caractéristiques socio-économiques

Absence de différence significative entre les résidents de St Louis et de La Rose	p
▪ Age	ns
▪ Sexe	ns
▪ Situation ou catégorie socioprofessionnelle	ns
▪ Durée d'habitation	ns
Différences ou à la limite de la significativité entre les résidents de St Louis et de La Rose	
▪ Niveau d'études : les résidents de St Louis ont un niveau d'études un peu plus faible	P=0.061 P<0.10
▪ Diplômes : obtention moins fréquente parmi les résidents de Saint Louis	
▪ Type d'habitation : les non-exposés habitent plus souvent en immeuble et les exposés dans des maisons	P<0.001
▪ Nombre de personnes au foyer : pas de différence en moyenne, mais la distribution indique un peu moins d'enfants à Saint-Louis qu'à La Rose	ns, P=0.086
Différences chez le personnel de l'école	
▪ plus jeune, proportion de femmes plus importante, plus diplômé, catégorie socioprofessionnelle particulière, répartition des individus à l'intérieur du foyer (adultes et enfants) différente des deux autres groupes	

2/ les facteurs pouvant influencer la cadmiurie indépendamment de TLM

Comparaison entre les résidents de Saint-Louis et de La Rose	p
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation tabagique active : statut tabagique, nb cig/j, tabac x années Années de consommation tabagique : plus élevées chez les résidents de Saint Louis 	ns P<0.04
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation tabagique passive : nb de fumeurs dans l'entourage, nb cigarettes fumées en présence du sujet Présence de fumeurs dans l'entourage : plus importante chez les résidents de Saint Louis 	ns P<0.01
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Type d'eau et alcool 	ns
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation d'aliments à risque (produits de la mer et abats) 	ns
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Profession susceptible d'être liée à l'usage de cadmium : <ul style="list-style-type: none"> -actuelle, plus fréquente à Saint Louis -antérieure 	P=0.02 ns
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Loisirs susceptibles d'être liés à l'usage de cadmium : plus fréquent à Saint Louis 	P=0.02
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation d'engrais phosphatés (riche en cadmium) : plus fréquente à La Rose 	P=0.067

ns : non significatif

En ce qui concerne ces facteurs, le personnel de l'école a un comportement similaire à celui des résidents de Saint Louis, excepté pour la consommation de produits à risque (abats, produits de la mer) qui est plus fréquente ainsi que l'activité professionnelle qui ne les a pas mis en présence de cadmium.

3/ les facteurs susceptibles d'être liés à l'exposition aux rejets de l'usine TLM

Comparaison entre les résidents de Saint-Louis et de La Rose	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jardin, verger, (potager) : plus fréquent chez les résidents de Saint Louis ▪ Moyenne d'heures de jardinage par semaine 	P=0.069,=0.047 ns
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation de fruits et légumes issus de son jardin en 1999 ou celui d'un ami 	ns
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation de fruits et légumes dans la zone exposée en 1999 : plus fréquente à Saint-Louis qu'à La Rose, comme on pouvait s'y attendre 	P<0.01
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Activités effectuées à Saint-Louis : seulement pour les résidents de Saint Louis 	

En conclusion, l'étude des caractéristiques sociodémographiques des populations incluses montre que les résidents de La Rose et de Saint-Louis présentent des caractéristiques similaires, bien que le niveau d'études soit légèrement plus faible à Saint Louis. Par contre, le personnel de l'école s'avère très différent des populations de résidents aussi bien de La Rose que de Saint Louis.

En ce qui concerne les facteurs susceptibles d'influencer la cadmiurie indépendamment de l'exposition à l'usine de TLM, on note que la consommation tabagique et celle d'aliments connus pour être riches en cadmium (abats et produits de la mer) est également similaire dans les deux groupes de résidents. Les activités professionnelles actuelles et les loisirs liés à l'usage de cadmium semblent un peu plus fréquents parmi les personnes de Saint Louis. Quant à l'usage d'engrais phosphatés renfermant du cadmium, il concerne assez peu de personnes et, de plus, surtout des résidents de la zone non-exposée.

Il apparaît donc au vu de cette première étape, que les populations de résidents de Saint-Louis et de La Rose sont comparables ce qui permet de poursuivre l'analyse. Par contre, le personnel de l'école qui présente des caractéristiques très différentes à la fois des résidents de Saint-Louis ou de La Rose ne peut être comparé pour sa cadmiurie compte tenu des facteurs de confusion potentiels.

6. Etude de la cadmiurie

6.1. Paramètres de distribution / histogramme dans les 2 zones

La distribution de la cadmiurie brute (exprimée en microgrammes (μg) par gramme de créatinine) suit une loi lognormale ; c'est pourquoi les résultats seront présentés ultérieurement à l'aide de la moyenne géométrique. On remarque que la cadmiurie est plus élevée dans le groupe des exposés que dans celui des non-exposés, ce qui est confirmé par les tests présentés dans le tableau 27. En fait, cela n'est vrai qu'entre les résidents de Saint-Louis et de La Rose. On constate, en effet, que le personnel de l'école, qui par ailleurs, présente des différences sociodémographiques qui lui sont propres, a en moyenne une cadmiurie plus faible que les résidents des deux autres groupes.

Tableau 27. Description et comparaison de la cadmiurie en $\mu\text{g/g}$ de créatinine dans les trois groupes (sans ajustement)

Cadmium	Résidents La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (A VS B)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Moyenne arithmétique	0,45	0,36	0,61		
Ecart-type	0,28	0,28	0,49		
Moyenne géométrique	0,37	0,28	0,48	0,25	0,01
IC95 % de la moyenne géom.	[0,33 ; 0,42]	[0,21 ; 0,38]	[0,44 ; 0,53]		
Minimum	0,08	0,09	0,1		
Maximum	1,19	1,22	3,42		
25 ^{ème} percentile	0,24	0,165	0,3		
50 ^{ème} percentile	0,35	0,27	0,47		
75 ^{ème} percentile	0,595	0,425	0,74		

6.2. Description des dépassements de la valeur seuil

La valeur seuil de cadmium dans les urines au dessus de laquelle des troubles rénaux sont susceptibles d'être détectés est $2,0 \mu\text{g/g}$ de créatinine.

Sur les 308 personnes adultes incluses dans l'étude, 7 présentent un dépassement de ce seuil.

Parmi ces dépassements, la valeur la plus basse est $2,15 \mu\text{g/g}$ de créatinine et la plus élevée $3,42 \mu\text{g/g}$ de créatinine. Cinq sont inférieurs à $2,5 \mu\text{g/g}$, les 2 autres étant supérieurs. Après contrôle, une personne a présenté une valeur de cadmium plus faible qu'au dosage initial et repasse en dessous du seuil de $2 \mu\text{g/g}$ (mais reste proche du seuil). Les valeurs de RBP (Retinol Binding Protein), protéine de faible poids moléculaire dosée dans l'urine de ces 7 personnes sont basses, n'indiquant pas d'atteinte rénale, bien que limite pour une personne.

Ces 7 personnes comportent 4 hommes et 3 femmes et leur âge est compris entre 38 et 76 ans ($m=57,3$ $sd=13,7$ médiane=59). Elles font toutes partie du groupe exposé et résident dans la zone exposée du quartier Saint-Louis (figure 1).

Parmi elles, 3 personnes possèdent un jardin, 2 ayant un jardin non destiné à la culture de fruits et légumes et la troisième un jardin potager. Cette dernière a eu un contrôle de pollution au cadmium des produits de son jardin qui s'est avéré être conforme à la norme. Les 2 personnes ayant un jardin d'agrément présentaient les concentrations de cadmium urinaire les plus élevées. Il est à noter qu'elles étaient celles qui résidaient le plus près de l'usine TLM parmi les 7 personnes avec un dépassement de seuil.

La durée de résidence dans le quartier Saint-Louis est comprise entre 13 ans et 68 ans (en prenant en compte le lieu d'habitation antérieur).

Une seule personne parmi les 7 n'a jamais fumé mais 2 personnes de son entourage fument en sa présence 1 à 5 cigarettes par jour. Deux personnes ont fumé pendant 66 ans et 19 ans (1paquet

par jour et plus d'1 paquet par jour). Les 4 autres personnes fument de 6 à plus de 20 cigarettes par jour depuis plus de 20 ans.

Parmi les 7 personnes, 2 ont une consommation d'alcool régulière.

Toutes ces personnes ont une consommation annuelle faible d'aliments à risque (rognons, huîtres, moules...).

Par contre 3 personnes ont mangé des aliments à risque une semaine avant le recueil d'urines (huîtres /moules /poissons).

Au niveau professionnel, seule une personne travaille. Ce travail a un lien avec les domaines de la soudure et de la peinture. Les professions antérieures des autres personnes n'avaient pas de lien avec l'utilisation de cadmium. Mais une personne a travaillé pendant 22 ans dans le quartier Saint-Louis à proximité de l'usine TLM.

Concernant les activités de loisirs une personne a déclaré utiliser de la peinture et une autre du vernis et de la soudure à l'étain.

Tableau 28. Description des personnes présentant une cadmiurie supérieure à 2 µg/g de créatinine

N°	cadmium (µg/g)	RBP (µg/g)**	Lieu de résidence	Age*	Niveau d'études	Situation actuelle	Profession à risque	A travaillé à St Louis	Nb d'années de résidence à St Louis	Consommation d'1 ou plusieurs aliments à risque avant le prélèvement d'urine	Consommation d'aliments à risque en 99	Consommation de menthe
1	2,15	165	St Louis	3	Pas de scolarité	Retraité			44	Oui	faible	
2	2,33	18	St Louis	3	Certificat d'études	Retraité			22		faible	
3	2,33	35	St Louis	3	Second. 2ème cycle	Retraité			68	Oui	faible	Oui
4	2,28	307	St Louis	2	Pas de scolarité	Au foyer			26	Oui	faible	Oui
5	2,69	54	St louis	1	Technique second.	Travail	Soudure peinture		13	Oui	faible	
6	3,42	89	St Louis	2	Technique second.	Au foyer			34		faible	
7	2,15	Contrôle Cd < 2	St Louis	2	Technique second.	Invalidité		Oui	46	Oui	faible	

N°	cadmium	jardin	potager / verger	Contrôle de pollution en cadmium***	Consommation des produits du jardin	Nb d'heures de jardinage/ semaine	Loisirs à risque	Situation tabagique	années tabac	Consommation de cigarettes / jour	fumeur entourage	cigarettes fumées (t. passif)
1	2,15						Peinture	Ex-fumeur	66	10-20 cig/jour		
2	2,33	Oui	Oui	Oui (négatif)	Oui	70h	Vernis soudure étain	Fumeur	45	10 20 cig/jour		
3	2,33							Ex-fumeur	19	> 20 cig/jour		
4	2,28							Non-fumeur			2	1-5/j
5	2,69	Oui	Non	Non	Non	6 h		Fumeur	21	10-20 cig/jour	> 2	>10/j
6	3,42	Oui	Non	Non	Non	1/2 h		Fumeur	21	6-10 cig/jour	2	1-5/j
7	2,15							Fumeur	33	> 20 cig/jour	1	>10/j

* Age : 1 : < 45 ans ; 2 : 45 et 60 ans ; 3 : > 60 ans

** RBP : Retinol Binding Protein, indicateur de la fonction rénale, habituellement inférieure à 300-350 µg/g de créatinine

*** Contrôle de pollution en cadmium du jardin: oui, un contrôle a eu lieu ; non, un contrôle n'a pas eu lieu. Négatif : le résultat du dosage était inférieur à la norme

7. Facteurs liés à la cadmiurie

7.1. Analyse univariée et bivariée

En raison de l'hétérogénéité des 2 groupes exposés, personnel de l'école et résidents de St- Louis et des différences sociodémographiques déjà citées entre eux, l'analyse comparative sera poursuivie uniquement entre les résidents de Saint-Louis et ceux de La Rose.

Une première étape a consisté à identifier tous les facteurs susceptibles de faire varier la cadmiurie indépendamment ou non de l'exposition à l'usine TLM.

7.1.1. Facteurs sociodémographiques

Les distributions de cadmiurie parmi les résidents de Saint-Louis et de La Rose selon les caractéristiques sociodémographiques sont détaillées en Annexe 5 et les moyennes géométriques de cadmiurie chez les résidents de Saint-Louis et de La Rose sont présentées dans le tableau 29.

Tableau 29. Cadmiuries moyennes en $\mu\text{g/g}$ de créatinine selon les caractéristiques sociodémographiques des résidents de La Rose et de Saint-Louis

	Non-Exposés			p	Exposés			p	p***
	Résidents La Rose (a)				Résidents Saint-Louis (c)				
	n	Moyenne géom.	IC95 %		n	Moyenne géom.	IC95 %		Bivariée
Age									
< 45 ans	34	0,30	[0,24 ; 0,36]	0,001	40	0,31	[0,25 ; 0,37]	0,001	0,001
45 et 60 ans	38	0,35	[0,29 ; 0,43]		63	0,55	[0,46 ; 0,65]		
> 60 ans	36	0,50	[0,41 ; 0,61]		76	0,55	[0,49 ; 0,62]		
Sexe									
Femmes	58	0,42	[0,35 ; 0,49]	0,04	100	0,47	[0,41 ; 0,54]	ns	ns
	50	0,33			[0,28 ; 0,39]	79	0,50		
Hommes									
Diplôme									
< bac	87	0,39	[0,34 ; 0,45]	0,07	152	0,50	[0,45 ; 0,56]	0,04	0,006
≥ bac	20	0,30	[0,23 ; 0,39]		27	0,38	[0,29 ; 0,50]		
Situation professionnelle									
Actif									
Au foyer	48	0,32	[0,27 ; 0,37]	0,04	68	0,41	[0,35 ; 0,49]	0,003	0,001
Chômage	6	0,41	[0,26 ; 0,62]		21	0,44	[0,32 ; 0,61]		
Invalide	8	0,30	[0,18 ; 0,49]		16	0,41	[0,31 ; 0,53]		
Retraité	6	0,40	[0,24 ; 0,65]		6	0,92	[0,61 ; 1,40]		
	40	0,47	[0,38 ; 0,57]		68	0,57	[0,50 ; 0,65]		
Catégorie socioprofessionnelle									
Cadres/Artisans/Commerçants	3	0,37	*	ns	8	0,42	[0,23 ; 0,79]	0,067	0,004
Employés	29	0,30	[0,25 ; 0,37]		27	0,43	[0,33 ; 0,57]		
Prof. intermédiaires	9	0,31	[0,21 ; 0,45]		14	0,33	[0,22 ; 0,50]		
Ouvriers	7	0,36	[0,23 ; 0,60]		19	0,44	[0,34 ; 0,58]		
Inactifs	23	0,37	[0,29 ; 0,49]		47	0,48	[0,40 ; 0,59]		
Retraités	36	0,46	[0,37 ; 0,57]		64	0,57	[0,50 ; 0,65]		
Années dans le logement actuel									
< 5 ans	5	0,37	[0,23 ; 0,61]	ns	3	0,68	*	ns	ns
5-9 ans	18	0,33	[0,26 ; 0,42]		25	0,46	[0,37 ; 0,57]		
10 ans	85	0,38	[0,33 ; 0,44]		151	0,48	[0,43 ; 0,54]		
Type d'habitation **									
Maison	28	0,40	[0,32 ; 0,50]	ns	88	0,54	[0,47 ; 0,62]	0,03	0,03
Immeuble	80	0,37	[0,32 ; 0,42]		87	0,43	[0,38 ; 0,49]		

* : effectif trop faible

** : 4 personnes vivant dans un autre type de logement n'ont pas été incluses dans cette comparaison (effectif trop faible)

*** : sur l'ensemble de l'échantillon, degré de signification de l'association entre le facteur et la cadmiurie en tenant compte de l'exposition

(Suite tableau 29)	Non-Exposés				Exposés				P
	Résidents La Rose (a)				Résidents Saint-Louis (c)				Bivariée
	n	Moyenne géom.	IC95 %	p	n	Moyenne géom.	IC95 %	p	
Nombre de personnes vivant au foyer									
1 personne	15			ns	30	0,45	[0,36 ; 0,56]		
2 personnes	39	0,49	[0,36 ; 0,66]		90	0,51	[0,45 ; 0,58]	ns	ns
3 personnes	25	0,39	[0,32 ; 0,48]		21	0,52	[0,40 ; 0,68]		
4 personnes	20	0,31	[0,23 ; 0,40]		22	0,37	[0,26 ; 0,54]		
5 personnes et plus	9	0,38	[0,31 ; 0,48]		16	0,50	[0,36 ; 0,69]		
		0,32	[0,22 ; 0,47]						
Nombre d'adultes vivant au foyer									
1 adulte	22	0,39	[0,29 ; 0,53]		32	0,42	[0,34 ; 0,53]		
2 adultes	60	0,36	[0,31 ; 0,43]	ns	114	0,47	[0,42 ; 0,53]	0,096	ns
3 adultes	19	0,35	[0,26 ; 0,46]		23	0,53	[0,41 ; 0,68]		
4 adultes et plus	7	0,47	[0,37 ; 0,58]		10	0,75	[0,49 ; 1,15]		
Nombre d'enfants vivant au foyer									
Aucun enfant									
1 enfant	74	0,40	[0,35 ; 0,46]		141	0,52	[0,47 ; 0,58]		
2 enfants	10	0,43	[0,28 ; 0,65]	0,094	8	0,50	[0,24 ; 1,01]	0,01	0,002
3 enfants et plus	17	0,28	[0,21 ; 0,38]		19	0,32	[0,22 ; 0,45]		
	7	0,28	[0,18 ; 0,44]		11	0,38	[0,30 ; 0,47]		

On constate que les niveaux de cadmium urinaire sont liés à l'âge. Une analyse plus fine montre une relation en 'U inversé', la cadmiurie croit avec l'âge jusqu'à 60 ans et décroît ensuite. Chez les personnes non-exposées les niveaux de cadmium sont plus élevés chez les femmes, ce qui n'est pas retrouvé dans le groupe exposé. Plus le niveau d'études est élevé et moins l'exposition au cadmium est importante. En ce qui concerne la situation ou la catégorie professionnelle, on note une cadmiurie moyenne plus élevée chez les personnes retraitées, ce qu'on retrouve avec l'observation d'une cadmiurie un peu plus élevée dans les foyers sans enfant. Par ailleurs, les personnes résidant dans une maison individuelle présentent une cadmiurie supérieure à ceux résidant dans un immeuble collectif.

7.1.2. Facteurs pouvant influencer la cadmiurie indépendamment de TLM

Divers facteurs sont associés à la cadmiurie indépendamment du fait de l'exposition de TLM (tableau 30). Ainsi, le tabagisme actif augmente la cadmiurie de façon significative, ce qui n'est pas le cas du tabagisme passif. Par contre, la consommation d'alcool ou d'eau de distribution n'a pas d'influence notable sur la cadmiurie, ni la consommation d'aliments connus pour être riches en cadmium (abats et produits de la mer). Par ailleurs, les personnes ayant des activités actuelles ou passées susceptibles d'être liées à l'usage de cadmium présentent des cadmiuries supérieures. Ceci est observé surtout chez les personnes de la zone exposée et de façon moins sensible, en zone non-exposée, vraisemblablement en raison du faible effectif. Les utilisateurs d'engrais phosphatés réputés riches en cadmium sont trop peu nombreux pour que l'on puisse effectivement constater un impact sur la cadmiurie.

Tableau 30. Cadmiuries moyennes en µg/g de créatinine selon les facteurs connus d'exposition au cadmium chez les résidents de La Rose et de Saint Louis

	Non-Exposés				Exposés				P	
	Résidents La Rose (a)				Résidents Saint-Louis (c)				Biva- -riée	
	n	Moyenne géom.	IC95 %	p	n	Moyenne géom.	IC95 %	p		
Tabagisme actif										
Fumeurs	27	0,45	[0,35 ; 0,57]	0,18	50	0,56	[0,45 ; 0,69]	0,024	0,0	06
Ex-fumeurs	25	0,37	[0,29 ; 0,47]		37	0,55	[0,46 ; 0,66]			
Non-fumeurs	55	0,37	[0,29 ; 0,40]		92	0,42	[0,37 ; 0,48]			
Consommation cumulée de tabac (g/j x années)										
Aucune	55	0,34	[0,29 ; 0,40]	ns*	93	0,42	[0,37 ; 0,48]	0,001	0,0	01
0 < C < 225	9	0,38	[0,24 ; 0,60]		29	0,39	[0,30 ; 0,51]			
225 ≤ C < 450	23	0,36	[0,27 ; 0,49]		22	0,58	[0,46 ; 0,74]			
450 ≤ C < 900	13	0,51	[0,37 ; 0,70]		23	0,63	[0,49 ; 0,82]			
900 ≤ C ≤ 2700	7	0,43	[0,32 ; 0,58]		12	1,00	[0,81 ; 1,24]			
Fumeur dans l'entourage										
Oui	34	0,41	[0,33 ; 0,51]	ns	84	0,47	[0,40 ; 0,56]	ns	ns	
Non	73	0,36	[0,31 ; 0,41]		95	0,49	[0,44 ; 0,55]			
Alcool nombre de verres/ semaine										
Aucun verre	51	0,38	[0,32 ; 0,47]	ns	65	0,50	[0,43 ; 0,59]	ns	ns	
0 < verre ≤ 1	11	0,40	[0,22 ; 0,57]		24	0,40	[0,31 ; 0,50]			
2 < verres ≤ 7	21	0,39	[0,32 ; 0,47]		45	0,44	[0,36 ; 0,53]			
verres > 7	25	0,33	[0,26 ; 0,42]		45	0,56	[0,46 ; 0,67]			
Consommation d'eau										
Robinet	69	0,40	[0,34 ; 0,46]	ns	103	0,49	[0,43 ; 0,56]	ns	ns	
Minérale	13	0,32	[0,22 ; 0,47]		32	0,47	[0,39 ; 0,57]			
Les deux	25	0,33	[0,26 ; 0,41]		44	0,48	[0,38 ; 0,59]			
Consommation cumulée d'aliments à risque										
Faible	75	0,38	[0,33 ; 0,44]	ns	137	0,50	[0,45 ; 0,56]	ns	ns	
Moyenne	32	0,34	[0,28 ; 0,42]		39	0,43	[0,36 ; 0,52]			
Forte	-	-			3	0,40	-			
Consommation d'aliments à risque la semaine avant le recueil d'urine										
Non	45	0,37	[0,30 ; 0,45]	ns	95	0,47	[0,41 ; 0,54]	ns	ns	
Oui	63	0,38	[0,34 ; 0,44]		84	0,50	[0,44 ; 0,57]			
Loisirs liés au cadmium										
Oui	2	0,36	-	ns	31	0,50	[0,40 ; 0,64]	ns	ns	
Non **	104	0,37	[0,33 ; 0,42]		147	0,48	[0,43 ; 0,53]			

(Suite Tableau 30)	Non-Exposés				Exposés				P Bivarié e
	Résidents La Rose (a)				Résidents Saint-Louis (c)				
	n	Moyenne géom.	IC95 %	p	n	Moyenne géom.	IC95 %	p	
Activité actuelle à risque									
Oui	-				8	0,68	[0,38 ; 1,22]	0,14	-
Non					171	0,47	[0,43 ; 0,52]		
Activité antérieure à risque									
Oui	4	0,56	[0,31 ; 1,04]	0,18	10	0,59	[0,41 ; 0,84]	ns	0,13
Non	104	0,37	[0,33 ; 0,41]		169	0,48	[0,43 ; 0,53]		
Activité actuelle ou antérieure à risque									
Oui	4	0,56	[0,31 ; 1,04]	0,18	17	0,61	[0,42 ; 0,52]	0,13	0,047
Non	104	0,37	[0,33 ; 0,41]		162	0,47	[0,44 ; 0,85]		
Utilisation d'engrais ***									
Oui	4	0,25	-		3	0,87	-		
Non	19	0,42	[0,32 ; 0,56]	ns	60	0,55	[0,46 ; 0,65]	ns	ns
Ne sait pas	5	0,26	-		2	0,49	-		

* : en fait la relation entre l'âge et la quantité de tabac cumulée est significative avec la variable continue (g x an), p<0,05.

** : les effectifs manquants correspondent aux personnes ayant répondu qu'elles ne savaient pas si elles étaient exposées.

*** : l'utilisation d'engrais phosphatés a été étudiée chez les propriétaires de jardin, d'où les faibles effectifs.

7.1.3. Facteurs susceptibles d'être liés à l'exposition aux rejets de l'usine TLM (Tableau 31)

Parmi les divers facteurs susceptibles d'être liés à l'émission de cadmium par l'usine TLM, ont été retenus les faits d'être propriétaire d'un jardin, d'un potager ou d'un verger, d'avoir consommé des fruits et légumes, de la menthe de la zone, le temps passé à jardiner au cours de la semaine, les faits d'avoir ou d'avoir eu son lieu de travail en zone exposée depuis 1980 (date approximative de l'émission de cadmium par TLM) et la durée de résidence. On constate que le fait d'être propriétaire d'un jardin, d'un potager ou d'un verger, et le temps de jardinage n'ont aucune influence sur la cadmiurie des personnes de la zone non-exposée. En revanche, pour les personnes de la zone exposée, la cadmiurie s'avère plus élevée chez les propriétaires d'un jardin, d'un potager ou d'un verger, chez les consommateurs de fruits et légumes de la zone et chez les personnes qui habitent depuis longtemps dans la zone d'étude de Saint Louis.

Tableau 31. Cadmiuries moyennes en µg/g de créatinine en fonction de divers facteurs d'exposition chez les résidents de La Rose et de Saint Louis

	Non-Exposés			p	Exposés			P bivariée
	Résidents La Rose (a)				Résidents Saint-Louis (c)			
	n	Moyenne géométrique	IC95 %		n	Moyenne géométrique	IC95 %	p
Propriétaire d'un jardin								
Oui	28	0,37	[0,30 ; 0,46]	ns	65	0,56	[0,47 ; 0,65]	0,03
Non	80	0,37	[0,33 ; 0,43]		114	0,44	[0,39 ; 0,50]	
Propriétaire d'un potager								
Oui	13	0,35	[0,25 ; 0,48]	ns	33	0,58	[0,48 ; 0,71]	0,06
Non	95	0,38	[0,33 ; 0,43]		146	0,46	[0,41 ; 0,52]	
Propriétaire d'un verger								
Oui	11	0,33	[0,23 ; 0,48]	ns	34	0,55	[0,44 ; 0,69]	0,18
Non	97	0,38	[0,33 ; 0,43]		145	0,48	[0,42 ; 0,52]	
Consommation de fruits et légumes du jardin en 1999								
Oui	18	0,39	[0,29 ; 0,50]	ns	43	0,56	[0,48 ; 0,67]	0,08
Non	90	0,37	[0,32 ; 0,42]		136	0,46	[0,41 ; 0,52]	
Consommation de fruits et légumes du jardin d'un ami								
Oui	30	0,43	[0,35 ; 0,54]	0,10	37	0,50	[0,42 ; 0,59]	ns
Non	75	0,35	[0,30 ; 0,40]		142	0,48	[0,43 ; 0,54]	
Consommation de menthe dans zone								
Oui	-				71	0,49	[0,42 ; 0,58]	ns
Non					108	0,47	[0,42 ; 0,54]	
Temps présent dans le jardin (h/semaine)								
< 1 h/semaine	86	0,38	[0,33 ; 0,43]	ns	131	0,46	[0,41 ; 0,52]	ns
1h ≤ temps ≤ 5h	14	0,35	[0,25 ; 0,50]		27	0,47	[0,37 ; 0,60]	
5h < temps ≤ 20h	8	0,38	[0,25 ; 0,57]		14	0,62	[0,43 ; 0,89]	
20h < temps	-	-			7	0,67	[0,37 ; 0,82]	
Activités à St Louis depuis 1980								
Oui	-				22	0,57	[0,45 ; 0,73]	ns
Non					157	0,47	[0,42 ; 0,52]	
Durée de résidence St Louis								
<10 ans	-							ns*
10 ans ≤ durée <16 ans					18	0,46	[0,34 ; 0,61]	
16 ans ≤ durée					38	0,43	[0,38 ; 0,55]	
					123	0,50	[0,45 ; 0,56]	

* : relation non linéaire significative avec la variable continue (courbe en 'V')

7.2. Analyse multivariée

7.2.1. Comparaison entre les groupes exposés et non-exposés

La première question à laquelle il est souhaitable de répondre est de savoir si la cadmiurie du groupe exposé, c'est-à-dire des personnes résidant à Saint Louis, est différente (supérieure) de celle du groupe non-exposé des personnes résidant à La Rose.

Cette comparaison est possible après la prise en compte des facteurs de variation de la cadmiurie, de type sociodémographique et comportemental, significativement liés au cadmium urinaire.

La différence observée initialement (sans ajustement) entre les résidents de Saint-Louis et de La Rose demeure significative ($p < 0,001$) après ajustement sur l'âge, le sexe, la situation professionnelle, la consommation cumulée de tabac (en g x années) et le fait d'avoir ou d'avoir eu une activité liée à l'usage du cadmium (tableau 31).

Tableau 31. Comparaison des cadmiuries moyennes en $\mu\text{g/g}$ de créatinine chez les résidents de La Rose et de Saint-Louis après ajustement sur les différents facteurs de confusion potentiels

	n	Moyenne géométrique	IC95 %	p
Profil d'exposition				
Résidents de Saint-Louis (exposés)	179	0,48	[0,46 ; 0,51]	0,001
Résidents de La Rose (non-exposés)	108	0,38	[0,35 ; 0,42]	

Ajustement : âge, sexe, situation professionnelle, consommation cumulée de tabac, activité liée au cadmium.

7.2.2. Facteurs de risque de l'exposition chez les résidents de Saint-Louis de la zone exposée

Après avoir mis en évidence une différence entre les deux zones, il importe d'identifier les facteurs de risque favorisant cette exposition et de mieux connaître leur contribution au sein de la zone exposée. Certains de ces facteurs ont été soupçonnés dans l'analyse univariée. Il s'agit de vérifier que c'est toujours le cas après la prise en compte de facteurs de confusion de type sociodémographique (âge, sexe, situation professionnelle) ou comportemental (consommation tabagique, activité à risque de cadmium).

Dans un premier temps, le modèle a porté sur l'ensemble des facteurs (facteurs de variation du cadmium et facteurs de risque de surexposition), excepté sur le lieu de résidence en raison du nombre important de mailles (et donc de ddl) qui risquait d'entraîner un manque de puissance pour observer certaines associations.

On constate que la cadmiurie reste plus élevée chez les propriétaires de potager ou de verger (augmentation de 19 %) et chez les personnes ayant eu une activité à Saint-Louis depuis 1980 (augmentation de 25 %). Les résultats sont similaires que l'on considère la consommation de fruits et légumes du jardin ou le fait d'être propriétaire d'un potager ou d'un verger.

Tableau 32. Facteurs de risque dans la zone exposée

		% d'augmentation de la cadmiurie	IC _{95%} du % d'augmentation de la cadmiurie	P	Moyenne géométrique de Cd	IC _{95%} de la moyenne
Propriétaire d'un potager ou d'un verger	Oui	19	[-3 % ; 47 %]	0,09	0,56	[0,47 ; 0,65]
	Non				0,47	[0,45 ; 0,49]
Consommation de fruits et légumes de la zone	Oui	19	[-3 % ; 45 %]	0,09	0,55	[0,48 ; 0,64]
	Non				0,47	[0,44 ; 0,49]
Activités à St Louis depuis 1980	Oui	25	[-3 % ; 62 %]	0,08	0,59	[0,47 ; 0,74]
	Non				0,47	[0,46 ; 0,49]

Ajustement : âge, sexe, situation professionnelle, consommation tabagique, activité liée au cadmium et autres facteurs de risque

La relation statistiquement significative ($p < 0,05$) entre la durée de résidence depuis 1980 et la cadmiurie est présentée dans la figure 2 avec son intervalle de confiance à 95 %.

On observe un accroissement de la cadmiurie avec la durée d'exposition à partir de 15 ans, alors qu'en deçà, la pente est négative. Peu de personnes ont une durée d'exposition inférieure à 10 ans, ce qui se traduit par un intervalle de confiance plus large. Une analyse de sensibilité consistant à les omettre du modèle, n'a montré qu'un impact marginal sur la forme de la relation.

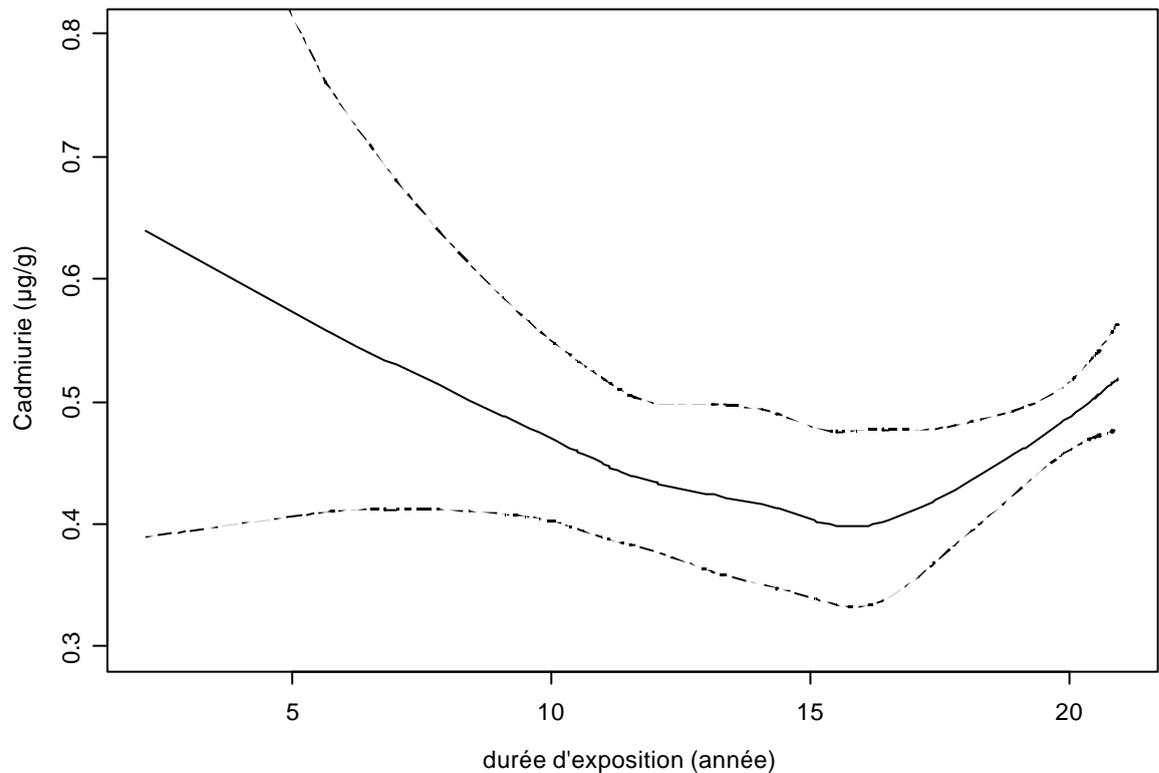


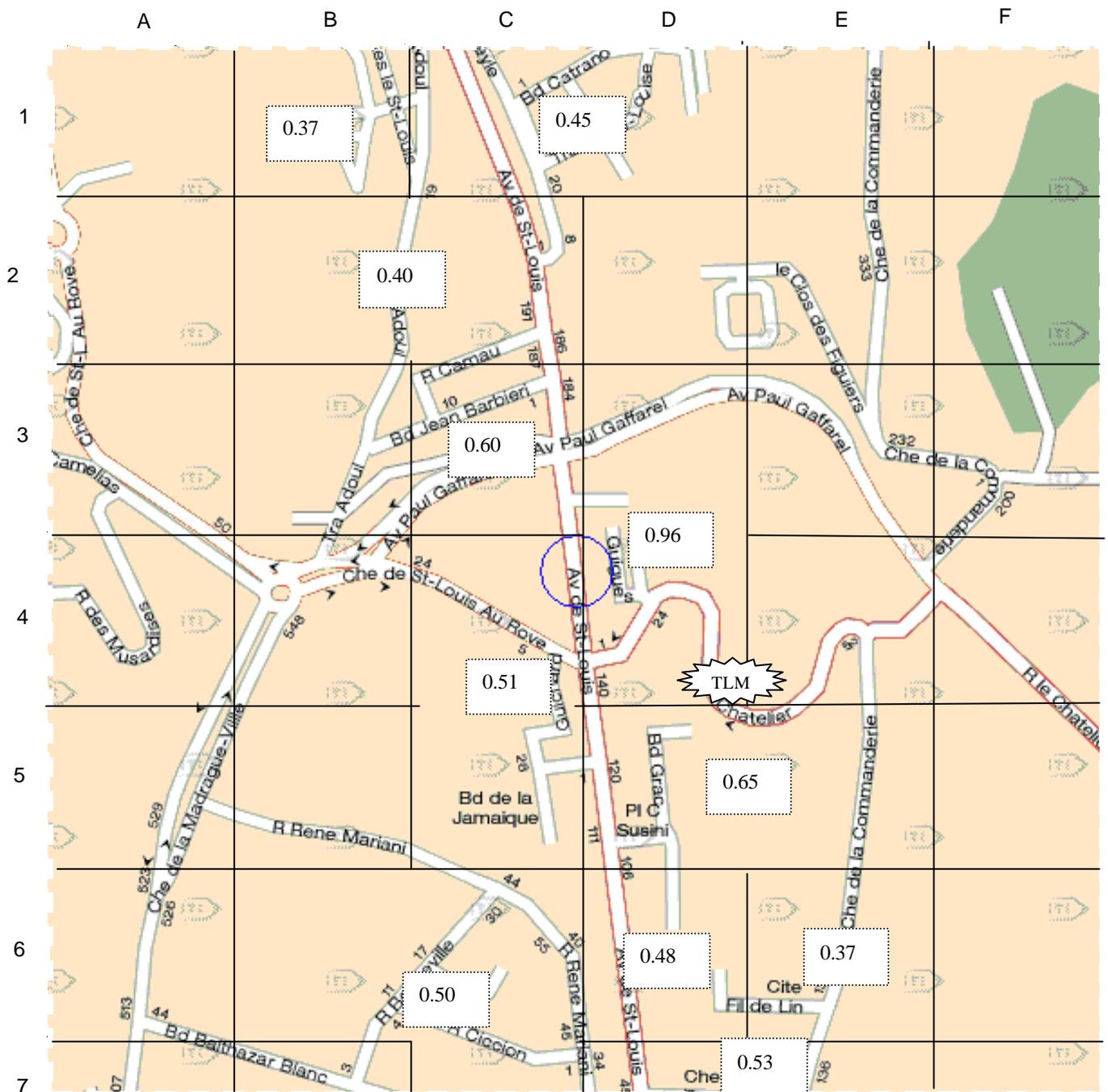
Figure 4. Relation entre la durée de résidence depuis 1980 et la cadmiurie (après ajustement)

Le facteur le plus fortement associé à la cadmiurie est le lieu de résidence ($p < 0,001$), qui a été étudié à l'aide d'un quadrillage effectué dans la zone d'étude. Certaines mailles ont été regroupées afin de disposer d'effectifs suffisants. On constate que les moyennes ajustées de cadmium les plus élevées sont localisées autour de l'usine TLM (cf. carte figure 5).

Tableau 33. Moyennes ajustées de cadmium selon le lieu de résidence

	% d'augmentation du Cd	IC _{95%} du % d'augmentation du Cd	p	Moyenne géométrique de Cd	IC95 % de la moyenne
Lieu de résidence			0,001		
Maille :					
B1	0	-		0,37	[0,31 ; 0,44]
C1-D1	21	[-11 ; 63]		0,45	[0,36 ; 0,56]
B2-C2	9	[-25 ; 57]		0,40	[0,30 ; 0,54]
C3	63	[9 ; 143]		0,60	[0,43 ; 0,84]
D3-D4 (usine TLM)	159	[81 ; 272]		0,96	[0,71 ; 1,30]
D5-E5	74	[22 ; 150]		0,65	[0,48 ; 0,86]
C4-C5	38	[-9 ; 109]		0,51	[0,36 ; 0,73]
D6	30	[-8 ; 84]		0,48	[0,37 ; 0,63]
B6-C6-C7	34	[1 ; 77]		0,50	[0,41 ; 0,59]
D7-E7	44	[-2 ; 112]		0,53	[0,39 ; 0,73]
E6	1	[-29 ; 42]		0,37	[0,28 ; 0,49]

Ajustement : âge, sexe, situation professionnelle, consommation tabagique, activité liée au cadmium



x.xx Moyenne ajustée de cadmiurie

Figure 5. Moyennes ajustées de cadmiurie selon le lieu de résidence
(La limite de la zone d'étude est précisée sur la carte de la figure 1, cf. méthodes)

Moyenne géométrique des cadmiuries effectuées chez les résidents de chaque maille ou regroupement de mailles

Dans un second temps, les résultats de la figure 5 permettent de distinguer 3 zones : une zone située autour de l'usine TLM avec les niveaux d'exposition les plus élevés (mailles : C3, D3-D4, D5-E5, C4-C5), une zone au nord (B1-C1-D1, B2-C2) et une zone au sud (D6, B6-C6-C7, D7-E7, E6).

Dans un modèle global comportant tous les facteurs, y compris le lieu de résidence en 3 zones (cf. ci-dessus), la cadmiurie reste essentiellement liée au lieu de résidence ($p < 0,001$). On observe une association non significative entre la cadmiurie et le fait d'être propriétaire d'un jardin potager ou d'un verger ($p = 0,19$), l'association reste significative avec la durée d'habitation ($p = 0,03$), mais disparaît chez les personnes ayant eu une activité à Saint-Louis depuis 1980.

Les moyennes ajustées de cadmiurie dans les 3 zones sont les suivantes :

- zone Nord, m = 0,40 $\mu\text{g/g}$, IC_{95 %} [0,36 ; 0,45] ;
- zone autour de TLM, m = 0,67 $\mu\text{g/g}$, IC_{95 %} [0,58 ; 0,78] ;
- zone Sud, m = 0,47 $\mu\text{g/g}$, IC_{95 %} [0,43 ; 0,52].

8. Discussion - cadmium TLM chez les adultes

Cette étude, dont l'objectif principal était d'évaluer les niveaux d'exposition de la population de Saint-Louis au cadmium émis par l'usine TLM, montre que les niveaux de contamination sont peu importants ; peu de dépassements de la valeur de référence ont été observés (7/179) et ils sont de faible amplitude. La comparaison des groupes de la population résidant à Saint-Louis d'une part et à La Rose d'autre part a montré des niveaux de contamination par le cadmium significativement plus élevés dans la population de la zone exposée, les autres caractéristiques de ces deux groupes étant, par ailleurs, similaires.

En ce qui concerne la participation à l'enquête, elle n'a pas été aussi importante qu'il aurait été souhaitable et de façon paradoxale moins importante dans la zone exposée, si bien que l'effectif final est inférieur à celui prévu initialement, lequel aurait peut-être permis d'observer plus nettement certaines tendances ou relations. Ceci peut également constituer un problème quant à la représentativité.

8.1. Biomarqueurs de l'exposition

L'entreprise TLM implantée dans le quartier de Saint-Louis du XV^{ème} arrondissement de Marseille, a rejeté du cadmium depuis environ 1980 jusqu'en Août 1999. Cette entreprise fabrique des fils d'alliage cuivre-cadmium, utilisés pour l'équipement des caténaires ferroviaires. Une pollution atmosphérique excessive en cadmium a été détectée et authentifiée autour du site TLM lors d'une campagne de mesure effectuée en 1999 ; des taux atteignant 600 ng/m³ d'air ambiant ont été relevés.

Chez l'homme, les deux voies principales d'absorption du cadmium sont pulmonaire et digestive. Le tube digestif est, en pratique, la principale voie d'entrée dans l'organisme du cadmium environnemental (taux d'absorption égal à 5 à 20 %). Les effets toxiques associés à l'ingestion de cadmium présent dans l'alimentation et/ou l'eau de consommation touchent essentiellement le rein avec une atteinte des tubules proximaux et une élévation de l'excrétion urinaire des protéines de

faibles poids moléculaires dont la β_2 -microglobuline, la rétinol-binding protéine (RBP), la N-Acetyl-beta-Glucosaminidase. Cette atteinte de la fonction rénale peut apparaître dans la population générale lorsque les concentrations urinaires en cadmium sont supérieures à 2 $\mu\text{g Cd/g}$ de créatinine (indicatrices d'une charge rénale en cadmium relativement importante).

L'excrétion, faible et lente du cadmium s'effectue essentiellement par voie urinaire et explique que la dose interne du métal augmente pendant toute la vie. C'est un toxique très cumulatif, puisque sa demi-vie biologique varie de 10 à 30 ans. La présence de cadmium au sein de la population de l'étude a été recherchée à l'aide de la mesure du cadmium urinaire qui est généralement utilisée comme premier indicateur biologique de l'exposition au cadmium. Il est bien corrélé à la charge rénale en cadmium. Lorsque la fonction rénale est normale, c'est un bon indicateur de l'exposition passée mais aussi récente. Chez les individus non-exposés, l'excrétion urinaire est plus élevée chez les fumeurs mais elle est généralement inférieure à 2 $\mu\text{g/g}$ créatinine et 2 $\mu\text{g/24 heures}$. Le cadmium urinaire est généralement exprimé en $\mu\text{g/l}$ rapporté à la créatinine, afin de tenir compte de la diurèse, le recueil des urines de 24 h étant très fastidieux. Cependant, il importe d'exclure les valeurs pour lesquelles la créatinine est inférieure à 0,3 g/l ou supérieures à 3 g/l (urines trop diluées ou trop concentrées). Ceci a conduit à l'exclusion de quatorze personnes de l'étude.

8.2. Niveaux d'exposition

Les niveaux de cadmium de la population d'étude sont similaires à ceux retrouvés chez des individus non professionnellement exposés au cadmium [Lauwerys, 1991]. Ce niveau pouvant être légèrement influencé par la consommation de produits de la mer ou d'abats, aliments habituellement riches en cadmium, des recommandations alimentaires avaient été adressées à la population d'étude la semaine précédant l'obtention du prélèvement pour éviter toute interférence alimentaire. En fait, ces recommandations ont été assez peu suivies. Néanmoins, la cadmiurie, qui reflète essentiellement l'exposition à long terme, n'a pas été significativement influencée par cette consommation.

Tous les dépassements de la valeur seuil ne concernent que des résidents de la zone exposée, bien que peu nombreux, témoignant ainsi d'une surexposition au cadmium par rapport à la zone non-exposée. Ces dépassements sont de faible amplitude puisque tous inférieurs à 3 $\mu\text{g/g}$ de créatinine hormis pour une personne. De plus, les niveaux de rétinol-binding protéine chez ces personnes sont faibles et n'indiquent pas d'atteinte rénale, bien qu'à la limite pour une personne. Par ailleurs, les niveaux de cadmium observés chez le personnel de l'école s'est avéré inférieur à ceux observés chez les résidents de La Rose et de Saint Louis, même si une comparaison correcte n'a pu être envisagée en raison de caractéristiques sociodémographiques très différentes. La valeur maximale de cadmium urinaire dans ce groupe était faible (1,22 $\mu\text{g /g}$ de créatinine).

8.3. Facteurs de confusion

Les caractéristiques sociodémographiques des personnels de l'école ont conduit à ne poursuivre l'analyse comparative que parmi les résidents des deux zones. Pour cela, il convenait dans un premier temps d'étudier les facteurs susceptibles d'interférer avec les niveaux de cadmium sans toutefois être liés à la zone d'étude. Tous les facteurs de variation du cadmium retrouvés dans cette étude sont déjà connus dans les publications scientifiques et confortent ainsi la validité des données recueillies [Sartor, 1992]. Ainsi le cadmium a été retrouvé associé à l'âge, au sexe, au niveau d'études, à la catégorie et la situation professionnelle, à des activités professionnelles et de loisirs liées à l'usage de cadmium et à la consommation tabagique.

L'excrétion urinaire de cadmium augmente avec l'âge en raison de l'accumulation progressive de ce toxique dans l'organisme, dont la demi-vie excède dix ans. En fait, dans la présente étude, on observe un accroissement jusqu'à 60 ans, suivi d'une lente décroissance après. Comme Sartor et al. [Sartor, 1992] l'ont déjà constaté en Belgique, l'excrétion urinaire de cadmium des femmes est supérieure à celle des hommes. Ceci s'expliquerait par un mécanisme compétitif du fer et du cadmium au niveau de l'absorption intestinale, pour lequel la femme est plus désavantagée car plus souvent carencée en fer que les hommes. Le cadmium urinaire est également associé au tabagisme qui constitue la source majeure de cadmium respirable en population générale [Frery, 1993] ; les fumeurs ont généralement 2 fois plus de cadmium dans la plupart de leurs tissus que les non-fumeurs. Par ailleurs, l'exposition au cadmium diminue lorsque le niveau d'études augmente. Ce résultat est fréquemment rapporté dans la littérature scientifique et ne concerne pas seulement le cadmium, mais également le plomb et d'autres toxiques [INSERM, 1999]. A travers le niveau d'études s'expriment de nombreux facteurs socio-économiques et comportementaux qui peuvent être associés à l'exposition. C'est d'ailleurs pourquoi pour comparer les deux populations de résidents, il était important qu'elles soient similaires concernant ces facteurs. L'appartenance à une situation ou catégorie socioprofessionnelle particulière influence également la cadmiurie. Habituellement, c'est pour des raisons analogues à celles concernant le niveau d'études. Mais dans l'étude présente, on constate que la catégorie présentant la cadmiurie la plus élevée dans l'analyse univariée est celle des retraités, ce qui traduit probablement l'influence importante de l'âge. Quant aux activités professionnelles ou de loisirs liées à l'usage de cadmium, leur lien avec une cadmiurie plus élevée est bien connue. En milieu professionnel, une surveillance biologique de l'exposition à ce toxique est effectuée à l'aide du dosage de cadmium dans les urines.

8.4. Facteurs de risque

Un des objectifs de cette étude était de déterminer les facteurs favorisant une surexposition aux rejets de TLM en prenant en compte les facteurs de confusion cités ci-dessus. Cette surexposition est surtout associée au lieu de résidence actuelle (proximité par rapport au site de TLM) et à la durée de résidence depuis 1980, et dans une moindre mesure, au fait d'être propriétaire d'un potager ou d'un verger et de consommer des fruits et légumes du jardin, au fait d'avoir eu une activité à Saint-Louis depuis 1980.

Le lieu de résidence est le facteur qui contribue le plus à l'exposition au cadmium de la population du quartier Saint Louis. Au regard de la cartographie, la contamination de la population autour de l'usine

TLM apparaît nettement la plus importante, avec une dilution des concentrations plus on s'éloigne de l'usine.

De même, une durée de résidence importante a favorisé l'augmentation de l'exposition au cadmium, mais surtout pour les personnes y résidant depuis plus de 15 ans. Il est vraisemblable que les résidents les plus anciens ont été particulièrement plus exposés dans les premières années de fonctionnement de l'usine (concernant l'activité liée au cadmium) dont les émissions étaient alors les plus élevées : 300 grammes de cadmium par jour, contre 40 grammes par jour début 1999, selon les estimations de la DRIRE.

Ces rejets atmosphériques se déposent sur les sols et les contaminent. Les relevés de cadmium dans les sols des terrains et des jardins de Saint-Louis ont indiqué des teneurs importantes supérieures à la valeur de constat d'impact (VCI : 17,1 mg/kg), à la valeur de définition source-sol (VDSS : 5,1 mg/kg), à la valeur recommandée par l'INERIS (3 mg/kg) et pouvaient atteindre 83,4 mg/kg, alors qu'habituellement la teneur moyenne dans les sols est inférieure à 1 mg/kg. Le cadmium du sol est très facilement assimilable par les plantes. C'est d'ailleurs une des raisons pour laquelle l'absorption digestive constitue la principale voie d'entrée dans l'organisme du cadmium environnemental.

Ceci est cohérent avec le fait qu'une tendance à être plus exposé est observée chez les résidents de Saint-Louis possédant un potager ou un verger ou consommant des fruits et légumes de leur jardin. Par contre, il ne semble pas que la contribution à la contamination par la remise en suspension de poussières de cadmium lors d'activités de jardinage soit notable. En fait, le petit effectif ne permet pas de conclure définitivement car on note une tendance à l'augmentation de cadmium avec le nombre d'heures par semaine passées à jardiner, même si ce résultat n'est pas statistiquement significatif.

A l'exposition par ingestion s'ajoute la contribution de l'exposition par la voie respiratoire. En effet, l'excrétion urinaire de cadmium est plus importante parmi les résidents les plus anciens et cela même lorsqu'on a soustrait les propriétaires de potager ou de verger. Par ailleurs, il est possible qu'il y ait également une surexposition chez les personnes ayant eu une activité à Saint-Louis depuis 1980. En effet, la disparition de l'association mise en évidence dans un premier temps, peut résulter d'un manque de puissance après la prise en compte du lieu de résidence, d'autant plus que l'effectif des personnes ayant eu une activité à Saint-Louis depuis 1980 est assez restreint. L'absorption respiratoire du cadmium ne concerne que les vapeurs et les poussières dont la granulométrie (< 5 µm) autorise une pénétration des voies aériennes jusqu'aux alvéoles. Pour que cette voie d'exposition ait un impact sur la contamination de la population, on peut supposer que l'exposition atmosphérique et donc les rejets par l'usine TLM n'étaient pas négligeables. L'hypothèse d'une ingestion de poussières de cadmium doit être également envisagée.

En conclusion, cette étude a permis de montrer l'existence d'une surimprégnation en cadmium de la population résidant autour de l'usine TLM par rapport à une population comparable d'un point de vue sociodémographique mais non-exposée. Cette surimprégnation s'est faite vraisemblablement au cours du temps à la fois par ingestion de produits locaux contaminés, par l'ingestion de poussières et par inhalation. Elle touche de façon plus importante les personnes à proximité de l'usine. Néanmoins, cette contamination reste relativement modérée et ne semble pas être, sur l'échantillon de population ayant fait l'objet de cette étude, à l'origine de conséquences rénales identifiables sur la base des dosages de RBP dans les urines. Les émissions de cadmium ont cessé depuis le mois d'Août 1999. Cependant, le cadmium étant un toxique cumulatif et étant assez rémanent dans l'environnement, il conviendra de s'assurer que les niveaux rencontrés dans l'environnement en particulier dans les sols ne sont pas de nature à favoriser une surexposition au long cours.

VII. Synthèse des résultats

1. Etude environnementale

La zone exposée autour de l'usine TLM a été délimitée à partir des résultats d'une modélisation des rejets atmosphériques de l'usine et de ceux d'une campagne de prélèvements de sols et de végétaux (divers légumes et fruits).

En parallèle, il a été demandé à l'INERIS de proposer, sur la base d'une évaluation des risques, une valeur de concentration de cadmium dans les sols au dessus de laquelle une décontamination devrait être effectuée.

1.1. Résultats de ces évaluations

- Les concentrations de cadmium les plus élevées dans les échantillons de sol sont rencontrées dans les 200 mètres autour du site TLM ;
- Dans la direction du Nord et au delà d'une distance de 300 mètres, les concentrations sont inférieures à la valeur guide proposée par l'INERIS (3 mg/kg) pour la décontamination ;
- Dans la direction du Sud et au delà de 500 mètres, une mesure montre une concentration de cadmium supérieure à la valeur guide de l'INERIS ;
- Dans la direction du Sud-Est, il existe aussi des dépassements notamment dans les jardins potagers de la « SNCF ».

Par ailleurs, les résultats des analyses montrent que certains végétaux provenant des jardins potagers de la zone exposée, en particulier les plantes aromatiques, les champignons et les salades, sont significativement contaminés. Cette contamination des végétaux diminue lorsque l'on s'éloigne du site de TLM mais elle reste néanmoins supérieure aux valeurs de référence du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France au moins jusqu'à 500 mètres du site.

Enfin, depuis l'arrêt de l'utilisation de cadmium par l'usine TLM, une diminution considérable des teneurs en cadmium dans l'air a été observée : aucun dépassement de la recommandation de l'OMS concernant la concentration de cadmium dans l'air (concentration moyenne annuelle égale à 5 ng/m³) n'a été observé depuis le début de l'année 2001.

1.2. Plan de dépollution

En plus de l'arrêt de l'utilisation du cadmium dans le procédé de fabrication de l'usine TLM, plusieurs décisions ont été prises sans attendre les résultats des études :

- Les écoles du quartier Saint-Louis ont subi un lavage au Karcher (extérieurs) et un lavage soigneux (intérieur) avant la rentrée des classes de Septembre 1999 ;
- Le site industriel a été dépollué entre Décembre 1999 et Mars 2000 ;
- Tous les jardins se trouvant dans un rayon de 200 mètres de l'usine ont été décontaminés entre Mai et Septembre 2000 par excavation de la terre sur une profondeur de 50 cm.

2. Etude épidémiologique

L'objectif de l'étude épidémiologique était de vérifier si les résidents du quartier Saint-Louis d'une part et les enfants fréquentant l'école Saint-Louis d'autre part, étaient exposés au cadmium rejeté par l'usine TLM à des niveaux risquant d'induire un impact sur leur santé. Pour ce faire, l'étude a été effectuée par comparaison avec les résidents d'un autre quartier de la ville de Marseille, le quartier de La Rose, non-exposé, comme des mesures environnementales de cadmium ont permis de le confirmer. Par ailleurs, un second objectif de l'étude était de vérifier quels facteurs, liés notamment au mode de vie (consommation alimentaire, par exemple), pouvaient favoriser l'exposition aux rejets de l'usine TLM.

L'étude épidémiologique a été effectuée conformément aux règles de bonne pratique en épidémiologie et après autorisation de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés.

Pour chaque participant, l'exposition au cadmium a été mesurée sur un prélèvement d'urines par l'Unité de Toxicologie Industrielle et Environnementale de la Clinique Universitaire Saint Luc à Bruxelles (Belgique). Le dosage du cadmium dans les urines fournit un bon reflet de l'exposition passée mais aussi récente au cadmium. Les participants ont aussi répondu à un questionnaire afin d'identifier les différents facteurs de risque d'exposition au cadmium.

2.1. Résultats concernant les enfants

L'étude visait l'ensemble des enfants âgés entre 3 et 11 ans ayant fréquenté l'école Saint-Louis Gare lors de l'année scolaire 1999-2000 ainsi que ceux qui fréquentaient cette école en 1999 et sont passés au collège en 2000 : 105 enfants ont pu être inclus dans l'étude. Par ailleurs, 97 enfants de l'école de la Rose Castors, école témoin, ont également été inclus.

Tous les dosages de cadmium effectués chez les enfants de l'école Saint-Louis Gare étaient faibles, largement inférieurs à la valeur de référence communément admise de 2 microgrammes de cadmium par gramme de créatinine. Cependant, la comparaison de ces dosages avec ceux effectués chez les enfants de l'école témoin a montré des niveaux un peu plus élevés chez les enfants de la zone exposée.

Les dosages de RBP effectués en complément chez les enfants ont permis de vérifier qu'ils étaient faibles et inférieurs à la valeur de référence dans le groupe exposé comme dans le groupe non-exposé. Aucune association n'a été mise en évidence entre les dosages de RBP et les cadmiuries.

L'analyse des réponses au questionnaire a montré que plusieurs facteurs étaient associés à des niveaux de cadmium dans les urines plus élevés, chez les enfants de l'école Saint-Louis :

- Habiter dans la zone exposée ;
- Habiter dans la cité des Créneaux : les niveaux de cadmium dans les urines chez les enfants résidant dans cette cité, non-exposée selon les résultats de l'étude environnementale, étaient significativement plus élevés que chez les enfants résidant en dehors de la zone exposée mais restaient inférieurs à 2 µg/g de créatinine ;
- L'activité professionnelle des pères : les niveaux de cadmium étaient significativement plus élevés chez les enfants dont le père était au chômage ou sans activité ; ce résultat a déjà été observé dans d'autres études d'imprégnation aux métaux lourds qui montrent fréquemment des niveaux plus élevés lorsque le niveau socio-économique est plus défavorisé.

Une lettre individuelle a été envoyée aux parents et à leur médecin traitant dès le mois d'Octobre 2000 pour leur communiquer les résultats individuels.

2.2. Résultats concernant les adultes

Concernant les adultes, l'étude visait les personnes résidant dans la zone exposée et *a priori* les plus à risque d'avoir été exposée aux rejets de cadmium de l'usine TLM, c'est-à-dire : les personnes âgées d'au moins 35 ans et résidant dans le quartier Saint-Louis depuis au moins 10 ans, les propriétaires de jardin potager et le personnel ayant fréquenté l'école Saint-Louis Gare.

Les personnes répondant à ces critères ont été incluses après tirage au sort et après avoir donné leur consentement pour participer à l'étude. Finalement, 20 personnes ayant travaillé à l'école et 179 personnes résidant dans le quartier Saint-Louis (dans une zone d'étude délimitée par la modélisation et les résultats des mesures environnementales des sols) ont été incluses dans l'étude. Ces dernières ont été comparées à 108 personnes résidant dans une zone non-exposée du quartier La Rose (confirmation par des mesures environnementales) et présentant des caractéristiques démographiques similaires.

Un niveau de cadmium dans les urines supérieur à la valeur de référence de 2 microgrammes de cadmium par gramme de créatinine a été détecté chez 7 des 179 résidents de Saint Louis. Mais ces dépassements sont de faible amplitude (inférieurs à 3,4 µg de Cd/g de créatinine). Chez ces personnes, les analyses médicales complémentaires n'ont pas montré d'atteinte rénale (dosages normaux de la protéine RBP dans les urines).

Aucun dépassement de la valeur de référence pour le cadmium urinaire n'a été observé chez les résidents de la zone témoin ou parmi le personnel de l'école Saint Louis. Celui-ci présentait des niveaux de cadmium urinaire semblables, voire inférieurs à ceux des résidents de la zone témoin.

L'analyse des réponses aux questionnaires des habitants du quartier Saint-Louis a montré que plusieurs facteurs étaient associés à des niveaux de cadmium dans les urines significativement plus élevés :

- Habiter près du site de l'usine TLM ;
- Habiter depuis plus de 15 ans dans la zone exposée ;

- Être propriétaire d'un jardin potager ou d'un verger ;
- Consommer des fruits et des légumes provenant de la zone exposée.

Une lettre individuelle a été envoyée aux participants et à leur médecin en Janvier 2001 pour les informer des résultats des dosages urinaires. Des analyses de contrôle ont été effectuées auprès de 4 personnes (parmi les 7 ayant un dépassement) qui ont accepté un second prélèvement. Ces analyses confirment les résultats du premier prélèvement. Un courrier a été envoyé à ces personnes et à leur médecin traitant en Mars 2001 pour leur communiquer le résultat de l'analyse de contrôle, leur recommander la réalisation d'un bilan rénal et leur proposer de se mettre en contact avec le service de néphrologie de l'hôpital de la Conception (Marseille) pour examiner les modalités de ce bilan. Depuis ce courrier, aucun des médecins auxquels le courrier a été adressé n'a contacté ce service. Un nouveau courrier a été adressé aux médecins traitants en Septembre 2001.

VIII. Recommandations du Comité Scientifique

1. Sur le plan environnemental

1.1. Achèvement de la cartographie des zones devant faire l'objet d'une décontamination

Le Comité Scientifique recommande que trois points complémentaires soient examinés pour compléter la cartographie des dépôts de cadmium liés aux rejets de l'usine TLM :

- Un recensement des jardins potagers dont les sols dépasseraient 3 mg/kg de cadmium sur une zone plus large que celle des 200 premiers mètres autour de l'usine TLM. Cette mesure apparaît nécessaire au Comité Scientifique pour plusieurs raisons :
 - Les sols de certains jardins potagers situés à plus de 400 mètres du site industriel comportent des teneurs en cadmium supérieures au niveau de concentration de cadmium dans les sols (3 mg/kg) recommandé par l'INERIS pour la dépollution des sols des jardins potagers ;
 - Les résultats de l'étude épidémiologique montrent que le fait d'être propriétaire d'un jardin potager ou d'un verger ou la consommation de fruits et légumes provenant de la zone exposée sont significativement associés à une cadmiurie augmentée ;
 - Il est difficile de délimiter, à partir des mesures de concentration de cadmium actuellement disponibles dans les sols, la zone au delà des 200 mètres dans laquelle des opérations supplémentaires de décontamination devraient être appliquées afin que la recommandation de l'INERIS soit respectée.
- Une étude plus approfondie des jardins SNCF : en effet, les prélèvements de sol réalisés sur ces jardins potagers (point 19 bis des tableaux en Annexes 1 et 3), situés à environ 350 mètres au sud-est du site industriel, montrent des concentrations en cadmium atteignant 6,7 mg/kg et des concentrations élevées dans certains végétaux (1170 µg/kg de cadmium dans le thym et le basilic, 148 µg/kg dans les cardons, 113 µg/kg dans les poivrons et aubergines).
- Enfin, des prélèvements et des analyses de sols sur les terrains de jeux dans la citée des Créneaux : les niveaux de cadmiurie chez les enfants résidant dans cette citée, bien que modérés (inférieurs à 2 µg/g de crétinine) sont significativement plus élevés que ceux des enfants habitant en dehors de la zone d'étude ; des prélèvements environnementaux n'ont pas encore été réalisés dans cette cité. Une enquête sur la consommation éventuelle par cette population de végétaux contaminés provenant des jardins SNCF est à envisager.

1.2. Suivi de la contamination aérienne en cadmium

La poursuite du suivi des concentrations en cadmium dans l'atmosphère est nécessaire durant les opérations de démontage et de nettoyage des installations contaminées sur le site TLM. Ceci est la condition pour vérifier que ces opérations ne conduisent pas, pendant leur durée, à des rejets de cadmium dans l'atmosphère.

1.3. Opérations complémentaires de décontamination

Les modalités selon lesquelles des opérations de décontamination complémentaires éventuelles devraient être menées (délimitation de la zone, choix des valeurs guide de niveau de décontamination,...) sont à définir par les organismes d'évaluation et de gestion compétents (CIRE, DDASS, DRIRE, INERIS,...) sur la base de l'évaluation des expositions sur l'ensemble de la zone impactée.

2. Sur le plan du suivi médical

2.1. Enfants

En ce qui concerne les enfants, une prise en charge médicale des enfants de l'école Saint-Louis n'est pas justifiée, les valeurs de cadmiurie et celles de RBP étant basses.

2.2. Adultes

Personnes ayant dépassé la valeur de référence détectées lors de l'étude épidémiologique

- Les médecins traitants des sujets dont la cadmiurie a dépassé la valeur de référence devront être recontactés afin d'envisager avec eux si un bilan médical et rénal peut être réalisé et de les informer directement sur les risques liés à une exposition au cadmium ainsi que sur les autres sources d'exposition (tabac, consommation de certains produits de la mer...).
- Dans la mesure où les sujets concernés l'acceptent, un contrôle de la cadmiurie devra être effectué dans un délai d'un an au moins après la mise en œuvre des actions de dépollution.
- Pour les sujets ayant eu un dépassement de la cadmiurie et possédant un jardin ou un potager, il devra être vérifié qu'un bilan environnemental personnalisé complet a été effectué.
- L'organisation d'un dépistage complémentaire d'anomalies rénales potentiellement liées à l'exposition au cadmium dans la population non couverte par l'étude épidémiologique ne paraît pas justifié. En effet, les résultats des études d'imprégnation effectuées dans la population potentiellement la plus exposée indiquent que le risque de présenter des anomalies rénales liées au cadmium au sein de la population adulte résidant dans la zone exposée est très faible.

- Cependant, le Comité Scientifique a considéré que la possibilité de faire effectuer un dosage de cadmiurie devait être offerte ou proposée aux adultes, qui résident dans la zone exposée depuis plusieurs années ou possèdent un jardin ou un potager et n'ont pas fait partie de l'étude d'imprégnation, lorsqu'ils le demandent. Il est en effet important que les personnes résidant dans la zone exposée puissent avoir connaissance de leur niveau d'exposition si elles le souhaitent.

L'information effectuée en direction du public lors du rendu des résultats devraient mentionner cette possibilité en précisant bien à qui elle s'adresse. Si des cadmiuries dépassant la valeur de référence sont observées, un bilan médical, qui devrait comprendre dans un premier temps un dosage de la RBP, devrait être effectué ainsi qu'un bilan environnemental personnalisé pour les personnes possédant ou ayant la jouissance d'un jardin potager.

Cette proposition implique de déterminer :

- **Un lieu de prélèvement** : il semble plus opportun de choisir un établissement public, à proximité du quartier Saint-Louis ;
- **Un laboratoire d'analyse** : il est proposé de recourir au laboratoire de Bruxelles, pour rester dans les mêmes conditions d'étalonnage que dans l'étude d'imprégnation ;
- **Un centre médical** assurant d'éventuels examens médicaux : le Centre d'Investigations Cliniques pourrait effectuer ces bilans.

Elle implique également :

- Que les examens soient pris en charge gratuitement ;
- Une information adéquate auprès du public et des professionnels de santé ; le Centre Anti Poison pourrait intervenir pour informer et orienter les personnes souhaitant avoir des renseignements et faire effectuer le dosage de cadmium urinaire.
- Une coordination entre les organismes impliqués (DDASS, DRIRE, CIC, CAP...).

3. Information du public et des professionnels de santé

Une information devra être diffusée auprès des résidents et auprès du corps médical sur les résultats des études d'évaluation entreprises ainsi que sur la nature et l'importance des risques liés à une exposition au cadmium et sur les facteurs qui, dans la vie de tous les jours, peuvent contribuer à une imprégnation des personnes par le cadmium (consommation de tabac, consommation de certains aliments...).

En particulier, l'information devrait porter sur :

- Les sources et les modalités d'exposition au cadmium ;
- Le devenir du cadmium dans l'organisme et ses effets toxiques ;
- Les moyens habituels de prévention de l'exposition au cadmium ;
- Les recommandations spécifiques qui peuvent être faites aux résidents de la zone exposée : celles-ci concernent notamment la consommation d'aliments auto-produits pour les propriétaires ou utilisateurs de jardins potagers non encore décontaminés.

BIBLIOGRAPHIE

- ADELFF. Recommandations : déontologie et bonnes pratiques en épidémiologie. Paris: ADELFF, 1998.
- AIRMARAIX. Notes concernant les résultats en PM10 et Cadmium sur le site Saint-Louis à Marseille: AIRMARAIX, 1999.
- AIRMARAIX. Point sur les niveaux de cadmium sur le site de Marseille Saint Louis: AIRMARAIX, 2000.
- AIRMARAIX. La surveillance des métaux lourds particuliers sur le site de Marseille Saint Louis: AIRMARAIX, 2001.
- APPA. Mesures et observations concernant la pollution atmosphérique concernant le site de Saint-Louis à Marseille. Marseille: ASSOCIATION POUR LA PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE (APPA), 1996.
- Bernard A, Lauwerys R. Cadmium In Toxicologie et Pathologie professionnelle. Paris, 1992.
- Buchet JP, Lauwerys R, Roels H, Bernard A, Bruaux P, Claeys F, Ducoffre G, de Plaen P, Staessen J, Amery A, et al. Renal effects of cadmium body burden of the general population. Lancet 336:699-702.(1990).
- Burtin M. Approche Méthodologique de la connaissance et de l'analyse des risques néphrologiques représentés par le Cadmium pour la population générale en France. In: DESS de Santé Publique. Paris:Université Paris V, 1994.
- CEREGE. Analyse du cadmium dans des profils de sols de Saint-Louis (Marseille) à proximité de l'usine TLM - 6 pages: CEREGE, 2000.
- Chlopicka J, Zagrodzki P, Zachwieja Z, Krosniak M, Folta M. Use of pattern recognition methods in the interpretation of heavy metal (lead and cadmium) in children's scalp hair. Analyst 120:943-5.(1995).
- Comité Scientifique Cadmium. Evaluation des conséquences sanitaires de la pollution d'origine industrielle au Cadmium autour du site TLM dans le XV^{ème} arrondissement de Marseille - Protocole d'enquête sur l'impregnation au cadmium de la population la plus exposée. Marseille: ORS-PAVA, InVS, 1999.
- CSHPF. Plomb, Cadmium et mercure dans l'alimentation: Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 1996.
- DGS. La diagonale des métaux ; études sur la teneur en métaux de l'alimentation: Direction Générale de la Santé, 1995.
- DGS. Alimentation et Santé, La diagonale des métaux. Etude sur la teneur en métaux de l'alimentation. Rennes, 1995.
- DGS. Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation, évaluation et gestion du risque, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, section de l'alimentaion et de la nutrition. Paris, 1996.
- Frery N, Girard F, Moreau T, Blot P, Sahuquillo J, Hajem S, Orssaud G, Huel G. Validity of hair cadmium in detecting chronic cadmium exposure in general populations. Bull Environ Contam Toxicol 50:736-43.(1993).
- Frery N, Guzzo JC, Garnier R. Evaluation des conséquences sanitaires de la pollution d'origine industrielle de Salsigne (Aude). Rapport d'enquête: Réseau National de Santé Publique, 1997.

- Guigues S. Evaluation de la zone soumise à l'impact des rejets atmosphériques de l'usine Tréfilérie et Laminoirs de la Méditerranée (TLM): Guigues SA, 1999.
- Guigues SA. Définition de la campagne d'échantillonnage et de prélèvements de végétaux, poussières et sols, usine TLM. Marseille. Marsielle: ATOS-Environnement, 1999.
- Guigues SA. Définition de la campagne d'échantillonnages et de prélèvements de végétaux, poussières et sols, usine TLM Marseille. Atos environnement: Guigues SA, 1999.
- Hassler E, Lind B, Piscator M. Cadmium in blood and urine related to present and past exposure. A study of workers in an alkaline battery factory. *Br J Ind Med* 40:420-5.(1983).
- Hutton M. Evaluation of the relationships between cadmium exposure and indicators of kidney fonction. In: *Monitoring and assessment Research Center*. London:Chelsea College, University of London, 1983;46.
- INERIS. Evaluation sommaire des risques pour la santé liés aux sols pollués par le cadmium pour les populations vivants à proximité du site TLM. Verneuil en Allatte: INERIS, 1999.
- INERIS. Fiche de données Toxicologiques et environnementales des substances chimiques - cadmium et ses dérivés. Verneuil en Allatte: INERIS, 2000.
- INSERM. Plomb dans l'environnement. Quels risques pour la santé. Expertise collective.: INSERM, 1999.
- Jarup L, Persson B, Elinder CG. Blood cadmium as an indicator of dose in a long-term follow-up of workers previously exposed to cadmium. *Scand J Work Environ Health* 23:31-6.(1997).
- Lauwerys R, Roels H, Regniers M, Buchet JP, Bernard A, Goret A. Significance of cadmium concentration in blood and in urine in workers exposed to cadmium. *Environ Res* 20:375-91.(1979).
- Lauwerys RR, Roels HA, Buchet JP, Bernard A, Stanescu D. Investigations on the lung and kidney function in workers exposed to cadmium. *Environ Health Perspect* 28:137-45.(1979).
- Lauwerys R, Bernard A, Buchet JP, Roels H, Bruaux P, Claeys F, Ducoffre G, De Plaen P, Staessen J, Amery A, et al. Does environmental exposure to cadmium represent a health risk? Conclusions from the Cadmibel study. *Acta Clin Belg* 46:219-25(1991).
- Lauwerys RR, Holt P. *Industrial Chemical exposure. Guidelines for biological monitoring*. London:Lewis Pub, 1993.
- Ledrans M, Le Goaster C, Bouy P, Debaisieux F, Roussel C, Bergeal E, Clement A. Evaluation de l'exposition des enfants aux polluants émis par l'usine Métal Blanc à Bourg Fidèle. Dépistage des imprégnations staturales excessives et estimations des imprégnations par l'arsenic et le cadmium: Réseau National de Santé Publique - DASS des Ardennes, 1999.
- MATE. Guide technique "Gestion des sols (potentiellement) pollués": Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 2000.
- Monoia C, Sabbioni E, Apostoli P, Pietra R, Pozzoli L, Gallorini M, Nicolaou G, Alesio L, Capodaglio E. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community - I - AStudy of 46 elements in urine, blood and serum of italian subjects. *Sci. Tot. Environ.* 95:89-105(1990).
- Nishiyama K, Nordberg GF. Adsorption and elution of cadmium on hair. *Arch Environ Health* 25:92-6.(1972).

OMS. Directive de la qualité de l'eau, de la qualité de l'eau de boisson, Vol 1, recommandations, seconde édition. Genève: Organisation Mondiale de la santé, 1994.

OMS. Air quality guidelines for non carcinogenic compounds : Cadmium. Copenhague: Organisation Mondiale de la Santé, 1997.

OMS. Directive de la qualité de l'eau, de la qualité pour l'eau de boisson, vol 1 recommandations. Genève, 1994.

Sartor F, Rondia D, Claeys F, Buchet JP, Ducoffre G, Lauwerys R, Staessen J, Amery A. Factors influencing the cadmium body burden in a population study. IARC Sci Publ 118:101-6(1992).

Staessen JA, Lauwerys RR, Ide G, Roels HA, Vyncke G, Amery A. Renal function and historical environmental cadmium pollution from zinc smelters. Lancet 343:1523-7.(1994).

Viala A. Eléments de toxicologie. Paris, 1998.

WHO. Cadmium Environment Health Criteria 134. Genève, 1992.

Wilhelm M, Ohnesorge FK, Hotzel D. Cadmium, copper, lead, and zinc concentrations in human scalp and pubic hair. Sci Total Environ 92:199-206.(1990).

Wilhelm M, Lombeck I, Ohnesorge FK. Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in hair and toenails of young children and family members: a follow-up study. Sci Total Environ 141:275-80.(1994).

ANNEXE 1. RESULTATS DES ANALYSES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS ET DE POUSSIERES QUARTIER SAINT-LOUIS - MARSEILLE

(Mesures ATOS Environnement - n = 113)

	Usage	Distance de la source (en mètres)	Nature de l'échantillon	Teneur en cadmium (mg/kg sec)
1	potager	180 N.NO	sol 0/15 cm	8,10
			sol 15/25 cm	1,00
			sol 25/50 cm	0,40
3	potager	750 NO	sol 0/15 cm	1,50
			sol 15/25 cm	1,20
			sol 25/50 cm	0,00
4	potager	730 NO	sol 0/15 cm	1,00
			sol 15/25 cm	0,80
			sol 25/50 cm	0,80
5	potager	280 N	sol 0/15 cm	2,70
			sol 15/25 cm	0,80
			sol 25/50 cm	0,60
6	potager	290 N.NO	sol 0/15 cm	3,10
			sol 15/25 cm	0,30
7	potager	300 N.NO	sol 0/15 cm	2,10
			sol 15/25 cm	2,00
			sol 25/50 cm	3,00
8	potager	80 NO	sol 0/15 cm	83,40
			sol 15/25 cm	74,80
			dépôt sur feuilles	1,18
9	école	450 O.NO	dépôt sur feuilles	0,07
			dépôt sur feuilles	0,04
			dépôt sur sol	7,90
10	école	590 O	dépôt sur sol	0,90
11	école	110 O	dépôt sur feuilles	1,57
			dépôt sur sol	51,10
12	potager	400 S.O	sol 0/15 cm	7,00
			sol 15/25 cm	7,00
			sol 25/50 cm	3,50
13	potager	140 N.O	sol 0/15 cm	7,60
			sol 15/25 cm	1,60
			dépôt sur feuilles	1,06
			dépôt sur feuilles	2,73
14	potager	450 S.O	dépôt sur feuilles	2,05
			sol 0/15 cm	4,00
			sol 15/25 cm	1,40
			sol 25/50 cm	1,20

			dépôt sur feuilles	0,05
			dépôt sur feuilles	0,04
			dépôt sur feuilles	0,02
16	lycée	600 O.S0	dépôt sur sol	5,10
			dépôt sur sol	0,40
			dépôt sur sol	0,70
			dépôt sur sol	4,90
	usage	distance de la source (en mètres)	nature l'échantillon	de teneur en cadmium (mg/kg sec)
			sol 0/15 cm	1,30
			sol 15/25 cm	0,60
17	parc public	1000 S.O	sol 25/50 cm	0,20
			dépôt sur feuilles	0,02
			dépôt sur sol	1,30
			dépôt sur sol	0,80
19	gare SNCF	360 S.E	dépôt sur sol	0,10
			dépôt sur sol	4,60
19 bis	potager	350 S.E	dépôt sur sol	6,70
			dépôt sur sol	5,70
			dépôt sur sol	1,60
20	potager	1000 E	dépôt sur sol	0,40
			dépôt sur sol	1,10
			dépôt sur sol	0,20
21	pelouse		dépôt sur sol	0,50
			dépôt sur feuilles	0,01
			sol 0/15 cm	0,60
			sol 15/25 cm	1,20
22	parc public	690 N.O	sol 25/50 cm	0,40
			dépôt sur feuilles	0,04
			dépôt sur feuilles	0,04
			dépôt sur sol	0,30
24	plate-bande fleurs	50	sol 0/15 cm	54,40
			sol 40/70 cm	4,70
25	potager	150	sol 0/15 cm	27,40
			sol 15/30 cm	6,00
			sol 30/45 cm	7,50
26	talus végétalisé	140	sol 0/15 cm	4,10
			sol 15/30 cm	18,00
			sol 15/45 cm	2,00
27	pied talus SNCF	100	sol 0/15 cm	16,80
			sol 15/30 cm	14,90
28	terrain vague	70	sol 0/15 cm	5,40
			sol 15/30 cm	8,00
			sol 30/45 cm	3,70

			sol 0/15 cm	10,20
29	terrain vague	100	sol 15/30 cm	3,30
			sol 30/45 cm	2,90
30	talus	270	0/25 cm	1,40
31		380	0/25 cm	<1,0
32			0/25 cm	1,90
33	talus	460	0/25 cm	<1,0
34		280	0/25 cm	12,10
			25/50 cm	12,00
35	plates bande arrêt de bus Paul Gaffarel	200	0/25 cm	3,40
36		190	0/25 cm	1,50
37		490	0/25 cm	2,20
38	plate bande	400	0/25 cm	<1,0
39	terrain vague	500	0/25 cm	1,30
	usage	distance de la source (en mètres)	nature l'échantillon	de teneur en cadmium (mg/kg sec)
40	talus à gauche après + 50 m	290	0/25 cm	5,70
			25/50 cm	2,90
41		400	0/25 cm	2,80
42	jardin	100	0/25 cm	26,30
			25/50 cm	7,40
43	plate bande	340	0/25 cm	6,90
			25/50 cm	3,20
44	jardin	470	0/25 cm	4,40
			25/50 cm	2,80
45	jardin	320	0/25 cm	2,80
46	au pied d'un arbre	320	0/25 cm	2,30
47		420	0/25 cm	0,70
48			0/25 cm	1,10
49		350	0/25 cm	2,70
50	talus à gauche	320	0/25 cm	5,80
			25/50 cm	3,90
51		560	0/25 cm	6,30
			25/50 cm	8,60
52	plate bande	280	0/25 cm	1,30

N.B : Les distances à la source ont été calculées à partir du point choisi par la DRIRE pour calculer la zone de dépollution de 200 mètres, en arrondissant la valeur à la dizaine de mètres.

ANNEXE 2. ANALYSES SUR LES ECHANTILLONS DE SOLS DE SURFACE - QUARTIER SAINT-LOUIS - MARSEILLE

CARTOGRAPHIE

Réalisation : Jean-Marc Di Guardia (DRASS Paca - Service Santé-Environnement)

ANNEXE 3. RÉSULTATS DES ANALYSES SUR LES ÉCHANTILLONS DE VÉGÉTAUX, QUARTIER SAINT-LOUIS - MARSEILLE

(Mesures ATOS Environnement - n = 79)

usage	distance de la source (en mètres)	nature de l'échantillon	teneur de cadmium (µg/kg)	en
1 potager	180 N.NO	pommes de terre	243	
		salades	213	
		basilic	91	
		verveine	384	
		olives	<1,5	
		grenades	5,5	
		tomates	121	
		haricots verts	18	
		poivrons	139	
		aubergines	229	
		raisins	12,9	
		romarin	552	
thym	1887			
3 potager	750 NO	poireaux	130	
		champignons	2018	
		tomates	<1,5	
4 potager	730 NO	olives	8,8	
		radis	14,7	
		poireaux	25	
		salades	65	
		raisins	<1,5	
		tomates	7,7	
		aubergines	<1,5	
		noisettes	<1,5	
		kakis	1,5	
		sauge + persil	37	
verveine	<1,5			
5 potager	280 N	menthe	3	
		potirons (feuilles)	18	
		raisins	4,7	
6 potager	290 N.NO	pastèque	6,9	
		tomates	13,5	
		poivrons jaunes	86	
		basilic	37	
		estragon	80	
7 potager	300 N.NO	salades	284	

usage	distance de la source (en mètres)	nature de l'échantillon	teneur en cadmium (µg/kg)
12 potager	400 S.O	poireaux	69
		salades	243
		tomates	5,7
		aubergines	124
		raisins	2,7
		potirons	<1,5
		haricots verts	<1,5
		menthe	21,3
		estragon	10
		persil	42
		thym	181
		laurier	346
13 potager	140 N.O	raisins	13
		pommes	34
		menthe	361
		estragon	327
14 potager	450 S.O	pommes de terre	26,8
		tomates	<1,5
		aubergines	<1,5
		poivrons	13,5
		menthe	4,3
		basilic	36
14 bis potager	378 SO	raisins	3,2
19 bis potager	350 S.E	betteraves	80
		salades	78
		cardons	148
		raisins	<1,5
		poivrons + aubergines	113
		haricots verts	96
		tomates vertes	20,4
		thym + basilic	1170

usage	distance de la source (en mètres)	nature de l'échantillon	teneur en cadmium (µg/kg)
20 potager	1000 E	navets	15,2
		salades	29
		fenouil	5,5
		poireaux	7
		choux	9,8
		blettes	<1,5
		tomates + poivrons	<1,5
		raisins	<1,5
		poivrons	17
		23 potager	120 NO
sauge	3324		
menthe	684		

N.B : Les distances à la source ont été calculées à partir du point choisi par la DRIRE pour calculer la zone de dépollution de 200 mètres, en arrondissant la valeur à la dizaine de mètres.

ANNEXE 4. VALEURS RÉGLEMENTAIRES ET VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

1. Valeurs réglementaires

1.1. Milieu du travail

Tableau A. Valeurs réglementaires en milieu du travail

Milieu	Origine de la valeur	Valeur
Air - Oxyde de cadmium	Ministère du travail (1)	VLE = 0,05 mg/m ³
Air - Cadmium et composés		VME = 0,05 mg/m ³

VLE : Valeur Limite d'Exposition (pour une exposition maximale de 15 minutes)
 VME : Valeur limite de Moyenne d'Exposition (pour une exposition sur 8 heures)

1.2. Population générale

Tableau B : Valeurs réglementaires (normes et recommandations) pour la population générale

Milieu	Origine de la valeur	Valeur réglementaire	
Aliments et boissons	Céréales et produits dérivés	0,1 mg/kg	
	Salades, céleri, épinards	d'Hygiène	0,2 mg/kg
	Autres légumes		0,1 mg/kg
	Poissons et produits de la pêche		0,1 mg/kg
	Mollusques, crabes et produits dérivés	Supérieur de France (2)	2 mg/kg
	Autres crustacés et produits dérivés		1 mg/kg
	Viandes (muscles)		0,1 mg/kg
	Foie	Conseil Public de France (2)	1 mg/kg
	Reins		2 mg/kg
	Limonades, sodas, boissons aux fruits, autres boissons sans alcool		0,01 mg/kg
	Jus de fruits, nectars		0,02 mg/kg
Vins, bières, cidres		0,02 mg/kg	
Eaux de consommation	Décret n°91-257 - France (1991)	5 µg/l	
	Directive 98/83/CE - Union européenne (1998)	5 µg/l	
	Directive eau de boisson - OMS (1996)	3 µg/l	
Air	Directive qualité air - OMS (2000)	5 ng/m ³	

2. VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

Les valeurs suivantes ne concernent que les risques sanitaires chroniques.

2.1. Effets toxiques à seuil

Tableau C : Valeurs toxicologiques (effets non cancérogènes)

Voie d'exposition	Valeur de référence	Source
Orale (eaux boisson)	RfD = $5 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	US EPA (1989)
Orale (nourriture)	RfD = 10^{-3} mg/kg/j	US EPA (1985)
Orale	MRL = $2 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	ATSDR (1999)
Orale	DHTP = 7 µg/kg	OMS (1994)

RfD (Reference Dose),

MRL(Minimal Risk Level) : Niveau minimal d'exposition journalier sans effets non cancérogènes suite à une exposition vie-entière

DHTP : Dose Hebdomadaire Tolérable Provisoire

L'US EPA(3) a établi deux valeurs distinctes pour l'eau de boisson et les apports alimentaires. Les valeurs sont estimées à partir d'un modèle toxicocinétique basé sur plusieurs études. Elles permettent de ne pas dépasser une concentration de cadmium dans le cortex rénal de 200 mg/kg. La valeur fixée par l'ATSDR(3) est calculée à partir d'une étude sur les hommes. Elle permet de ne pas observer d'augmentation de la bêta2-microglobuline dans la population. La DHTP, recommandée par l'OMS(4), a été fixée afin que la concentration de cadmium dans le cortex rénal ne dépasse pas 50 mg/kg.

2.2. Effets toxiques sans seuil (cancérogènes)

Le cadmium appartient à la classe 1B, cancérogène probable chez l'homme, de l'US EPA et à la classe 1, agent cancérogène pour l'homme, du Centre International de Recherche sur le Cancer (OMS) ; l'organe cible étant les poumons.

Tableau D : Valeurs toxicologiques (effets cancérogènes)

Voie d'exposition	Valeur de référence	Source
Inhalation	TC05 = 5,1 µg/m ³	Health Canada (1993)
Inhalation	ERU = $1,8 \cdot 10^{-3}$ (µg/m ³) ⁻¹	US EPA (1987)

ERU : Excès de risque unitaire. Dans le cas du cadmium, une exposition vie entière à une concentration de 1 µg/m³ entraîne un risque de développer un cancer de 1,8 pour mille (risque acceptable 10^{-5} ou 10^{-6} suivant les auteurs)

TC05 : Concentration dans l'air associée à une augmentation de 5 % de la mortalité par cancer.

ANNEXE 5. CADMIURIES CHEZ LES ADULTES

Distributions des cadmiuries brutes chez les adultes

Tableau 1. description et comparaison brute de la cadmiurie dans les trois groupes

Cadmium	Résidents de La Rose (a)	Personnel école (b)	Résidents St Louis (c)	P (a vs b)	P (a vs c)
Effectif	108	20	179		
Moyenne	0,450	0,360	0,608		
Ecart-type	0,278	0,284	0,489		
Minimum	0,08	0,09	0,1	0,25	0,01
Maximum	1,19	1,22	3,42		
Q25	0,24	0,165	0,3		
Q50	0,35	0,27	0,47		
Q75	0,595	0,425	0,74		

Tableau 2. Facteurs liés à la cadmiurie chez les non-exposés (N=108)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Age *	34-44	34	0,344	0,195	1,07	0,44	0,33	0,23	0,01
	45-60	38	0,417	0,256	1,04	0,6	0,31	0,21	
	61 et +	36	0,585	0,315	1,19	0,82	0,53	0,32	
Sexe	Femmes	58	0,503	0,301	1,19	0,72	0,4	0,27	0,22
	Hommes	50	0,388	0,236	1,18	0,56	0,31	0,21	
Diplôme	< bac	87	0,469	0,283	1,19	0,6	0,38	0,25	0,27
	≥ bac	20	0,355	0,236	0,98	0,44	0,27	0,19	
Situation professionnelle	Actif	48	0,365	0,206	0,98	0,47	0,315	0,23	0,07
	Au foyer	6	0,465	0,308	1,07	0,44	0,385	0,26	
	Chômage	8	0,364	0,233	0,72	0,56	0,3	0,195	
	Invalide	6	0,458	0,250	0,79	0,63	0,47	0,2	
	Retraité	39	0,562	0,329	1,19	0,82	0,5	0,29	
Catégorie socioprofessionnel	Cadres	29	0,356	0,215	0,98	0,45	0,29	0,23	0,20
	Employés	9	0,352	0,193	0,73	0,41	0,33	0,19	
	Prof. interm.	1	0,25	.	0,25	0,25	0,25	0,25	
	Arti/com.	7	0,41	0,222	0,78	0,57	0,34	0,24	
	Ouvriers	23	0,451	0,286	1,19	0,63	0,34	0,25	
	Inactifs	36	0,555	0,322	1,19	0,815	0,51	0,285	
	Retraités								
Profession actuelle ou antérieure	Cadres	4	0,34	0,171	0,58	0,46	0,295	0,22	0,32
	Employés	55	0,431	0,278	1,19	0,54	0,34	0,23	
	Prof. interm.	14	0,412	0,234	0,82	0,66	0,35	0,19	
	Arti/com.	2	0,42	0,240	0,59	0,59	0,42	0,25	
	Ouvriers	23	0,432	0,268	1,18	0,6	0,32	0,24	
	Inactifs	1	0,72	.	0,72	0,72	0,72	0,72	
	Au foyer	8	0,695	0,360	1,19	1,025	0,625	0,385	

* âge en continu : p=0,28 ; p=0,02

(Suite tableau 2)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Années de logement actuel									
< 5 ans									
5-9 ans	5	0,422	0,236	0,79	0,45	0,44	0,24	0,19	
> 10 ans	18	0,379	0,223	1,1	0,44	0,33	0,26	0,12	0,67
	85	0,466	0,290	1,19	0,65	0,38	0,24	0,08	
Type d'habitation									
Maison	28	0,475	0,282	1,19	0,665	0,44	0,225	0,15	0,38
Immeuble	80	0,441	0,277	1,19	0,565	0,34	0,24	0,08	
Nombre de personnes vivant au foyer									
1 personne	15	0,564	0,284	0,97	0,82	0,58	0,32	0,18	
2 personnes	39	0,471	0,296	1,19	0,65	0,42	0,25	0,1	0,24
3 personnes	25	0,389	0,291	1,19	0,53	0,33	0,19	0,08	
4 personnes	20	0,434	0,237	1,07	0,51	0,355	0,29	0,12	
5 pers. et +	9	0,37	0,200	0,69	0,52	0,26	0,24	0,11	
Nombre d'adultes vivant au foyer									
1 adulte	22	0,486	0,289	0,97	0,73	0,405	0,24	0,08	
2 adultes	60	0,439	0,281	1,19	0,555	0,34	0,245	0,1	0,65
3 adultes	19	0,428	0,303	1,19	0,6	0,29	0,2	0,15	
4 adultes	5	0,448	0,127	0,6	0,56	0,41	0,37	0,3	
5 adultes et +	2	0,57	0,170	0,69	0,69	0,57	0,45	0,45	
Nb enfants vivant au foyer									
Aucun enfant									
1 enfant	74	0,479	0,287	1,19	0,65	0,4	0,25	0,1	
2 enfants	10	0,509	0,282	0,98	0,78	0,495	0,28	0,1	0,13
3 enfants	17	0,338	0,227	1,07	0,38	0,33	0,23	0,08	
	7	0,33	0,212	0,72	0,52	0,25	0,21	0,11	
Famille possédant un jardin									
Non									
Oui	80	0,453	0,281	1,19	0,585	0,35	0,245	0,08	0,77
	28	0,441	0,271	1,19	0,625	0,34	0,215	0,15	
Famille possédant un potager									
Non	95	0,454	0,277	1,19	0,6	0,36	0,24	0,08	0,50
Oui	13	0,416	0,289	1,19	0,52	0,27	0,23	0,15	
Famille possédant un verger									
Non	97	0,455	0,278	1,19	0,6	0,36	0,24	0,08	0,36
Oui	11	0,399	0,279	1,07	0,52	0,27	0,19	0,15	
Consommation de fruits et légumes du jardin en 1999									
Non	90	0,446	0,274	1,19	0,59	0,34	0,24	0,08	0,56
Oui	18	0,469	0,300	1,19	0,65	0,42	0,23	0,15	

(Suite tableau2)

Consommation de fruits et légumes du jardin d'un ami	Non	75	0,419	0,272	1,19	0,52	0,33	0,23	0,08	0,07
	Oui	30	0,51	0,292	1,19	0,65	0,53	0,24	0,16	
Temps présent dans le jardin < 1 h/semaine	1 ≤ temps ≤ 5h	86	0,453	0,276	1,19	0,59	0,365	0,25	0,08	0,73
	5h ≤ temps < 20h	14	0,44	0,337	1,19	0,66	0,26	0,21	0,19	
		8	0,43	0,209	0,67	0,625	0,45	0,23	0,15	
Consommation habituelle d'aliments à risque en 1999	Faible	75	0,466	0,296	1,19	0,63	0,36	0,24	0,08	0,87
	Moyen	32	0,404	0,229	0,96	0,555	0,335	0,215	0,1	
Consommation d'aliments à risque la semaine avant le recueil d'urine	Non	45	0,450	0,291	1,19	0,58	0,33	0,23	0,08	0,94
	Oui	63	0,449	0,297	1,19	0,6	0,38	0,24	0,1	
Consommation d'eau	Robinet	69	0,479	0,289	1,19	0,63	0,38	0,25	0,08	0,27
	Minérale	13	0,395	0,242	0,79	0,58	0,39	0,16	0,12	
	Les deux	25	0,387	0,258	1,19	0,32	0,32	0,23	0,1	
Tabagisme actif	Fumeurs	27	0,527	0,279	1,18	0,68	0,46	0,34	0,08	0,07
	Ex-fumeurs	25	0,448	0,289	1,19	0,56	0,37	0,25	0,1	
	Non-fumeurs	55	0,409	0,269	1,19	0,53	0,3	0,21	0,11	
Consommation de tabac cumulée tout âge (g x an)	Aucune	55	0,414	0,269	1,19	0,56	0,31	0,22	0,11	0,46 0,02 chez les moins de 60 ans
	0 < C < 225	9	0,472	0,338	1,19	0,6	0,38	0,22	0,16	
	225 ≤ C < 450	23	0,447	0,270	1,04	0,55	0,55	0,24	0,08	
	450 ≤ C < 900	13	0,59	0,320	1,18	0,68	0,56	0,39	0,15	
	900 ≤ C ≤ 2700	7	0,459	0,171	0,67	0,6	0,52	0,28	0,25	
Fumeur dans l'entourage	Oui	34	0,499	0,320	1,19	0,65	0,39	0,24	0,1	0,83
	Non	73	0,424	0,255	1,18	0,57	0,34	0,23	0,08	
Alcool nombre de verres / semaine	Aucun verre	51	0,479	0,316	1,19	0,66	0,38	0,25	0,08	0,63
	0 < verre ≤ 1	11	0,466	0,283	0,98	0,55	0,44	0,23	0,15	
	2 < verres ≤ 7	21	0,429	0,192	0,82	0,56	0,42	0,26	0,19	
	7 < verres ≤ 28	19	0,365	0,234	0,98	0,52	0,29	0,2	0,1	
	28 < verres ≤ 49	6	0,507	0,322	1,04	0,68	0,425	0,25	0,22	
Activité antérieure* = activité à risque	Oui	4	0,638	0,329	1,04	0,86	0,635	0,415	0,24	0,18
	Non	104	0,443	0,275	1,19	0,585	0,34	0,24	0,08	

* Aucun témoin n'a une activité actuelle en rapport avec une activité à risque

Tableau 3. Facteurs liés à la cadmiurie chez les exposés (n=179)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Age *									
34-44	40	0,404	0,461	2,69	0,38	0,28	0,215	0,1	0,0002
48-60	63	0,688	0,552	3,42	0,87	0,52	0,36	0,11	
61 et +	76	0,648	0,418	2,33	0,8	0,54	0,375	0,14	
Sexe									0,34
Femmes	100	0,599	0,507	3,42	0,74	0,46	0,29	0,1	0,04
Hommes	79	0,619	0,467	2,69	0,73	0,47	0,32	0,13	
Diplôme									
< bac	152	0,628	0,499	3,42	0,74	0,48	0,32	0,1	0,04
> bac	27	0,496	0,416	1,76	0,57	0,36	0,26	0,12	
Situation professionnelle									
Actif	68	0,541	0,468	2,69	0,65	0,365	0,255	0,1	0,0011
Au foyer	21	0,639	0,782	3,42	0,52	0,39	0,28	0,14	
Chômage	16	0,461	0,252	1,18	0,55	0,435	0,31	0,15	
Invalide	6	1,04	0,593	2,15	1,14	0,915	0,67	0,45	
Retraité	68	0,660	0,404	2,33	0,815	0,57	0,405	0,2	
Catégorie socioprofessionnelle									
Cadres	4	0,605	0,526	1,21	1,045	0,54	0,165	0,13	0,04
Employés	27	0,57	0,467	1,76	0,67	0,42	0,28	0,1	
Prof. interm.	14	0,487	0,654	2,69	0,45	0,29	0,18	0,12	
Arti/com.	4	0,592	0,587	1,47	0,92	0,33	0,265	0,24	
Ouvriers	19	0,517	0,287	1,13	0,69	0,46	0,25	0,14	
Inactifs	47	0,633	0,606	3,42	0,76	0,44	0,3	0,14	
Retraités	64	0,660	0,407	2,33	0,795	0,57	0,405	0,2	
Profession actuelle ou antérieure									
Cadres	5	0,57	0,462	1,21	0,88	0,43	0,2	0,13	0,33
Employés	77	0,541	0,333	1,76	0,62	0,47	0,32	0,1	
Prof. interm.	18	0,646	0,737	2,69	0,64	0,345	0,23	0,12	
Arti/com.	12	0,907	0,602	2,33	1,165	0,91	0,385	0,24	
Ouvriers	57	0,621	0,518	3,42	0,73	0,47	0,32	0,14	
Expl. Agricol	1	0,62	.	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	
Au foyer	9	0,634	0,660	2,28	0,51	0,41	0,29	0,22	
Années de logement actuel									
< 5 ans									0,49
5-9 ans	3	0,71	0,257	1	1	0,62	0,51	0,51	
> 10 ans	25	0,534	0,305	1,47	0,7	0,46	0,29	0,15	
	151	0,618	0,516	3,42	0,74	0,47	0,3	0,1	
Type d'habitation									
Maison	88	0,681	0,547	3,42	0,815	0,515	0,34	0,13	0,16
Immeuble	87	0,536	0,420	2,69	0,62	0,41	0,29	0,1	
Foyer	2	0,55	0,170	0,67	0,67	0,55	0,43	0,43	
Autres	2	0,656	0,573	0,97	0,97	0,565	0,16	0,16	

* âge en continu : p=0,11 ; p=0,14

(Suite tableau3)

(suite)	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Nombre de personnes vivant au foyer									
1 personne	30	0,551	0,444	2,33	0,62	0,44	0,27	0,18	0,16
2 personnes	90	0,630	0,490	3,42	0,75	0,48	0,36	0,11	
3 personnes	21	0,618	0,333	1,21	0,88	0,58	0,31	0,16	
4 personnes	22	0,566	0,639	2,69	0,64	0,3	0,19	0,1	
5 pers. et +	16	0,635	0,545	2,28	0,665	0,445	0,29	0,22	
Nombre d'adultes vivant au foyer									
1 adulte	32	0,530	0,438	2,33	0,6	0,41	0,265	0,11	0,35
2 adultes	114	0,595	0,498	3,42	0,69	0,465	0,3	0,1	
3 adultes	23	0,637	0,404	1,76	0,97	0,52	0,29	0,16	
4 adultes	4	0,755	0,520	1,44	1,155	0,65	0,355	0,28	
5 adultes et +	6	1,045	0,725	2,28	1,47	0,835	0,51	0,34	
Nombre d'enfants vivant au foyer									
Aucun enfant	141	0,636	0,481	3,42	0,76	0,48	0,36	0,13	0,02
1 enfant	8	0,741	0,624	1,76	1,235	0,555	0,24	0,11	
2 enfants	19	0,459	0,579	2,69	0,63	0,29	0,18	0,1	
3 enfants	7	0,43	0,131	0,66	0,51	0,43	0,3	0,28	
4 enfants	4	0,347	0,190	0,63	0,455	0,27	0,24	0,22	
Famille possédant un jardin									
Non	114	0,554	0,419	2,33	0,64	0,43	0,29	0,1	0,16
Oui	65	0,701	0,583	3,42	0,81	0,52	0,36	0,15	
Famille possédant un potager									
Non	146	0,590	0,501	3,42	0,67	0,44	0,29	0,1	0,03
Oui	33	0,684	0,427	2,33	0,82	0,56	0,43	0,17	

(Suite tableau3)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Famille possédant un verger									
Non	145	0,591	0,491	3,42	0,69	0,45	0,3	0,1	0,25
Oui	34	0,681	0,480	2,33	0,87	0,515	0,36	0,15	
Consommation de fruits et légumes du jardin en 1999									
Non	136	0,591	0,511	3,42	0,665	0,44	0,29	0,1	0,09
Oui	43	0,660	0,413	2,33	0,82	0,53	0,39	0,2	
Consommation de fruits et légumes du jardin d'un ami									
Non	142	0,618	0,528	3,42	0,74	0,465	0,29	0,1	0,74
Oui	37	0,570	0,296	1,36	0,73	0,47	0,36	0,15	
Temps présent dans le jardin									
< 1 h/semaine	131	0,581	0,470	3,42	0,69	0,45	0,3	0,1	0,22
1h ≤ temps ≤ 5h	27	0,571	0,387	1,76	0,73	0,46	0,28	0,15	
5h < temps < 20h	21	0,821	0,664	2,69	1	0,53	0,36	0,22	
Consommation habituelle d'aliments à risque en 1999									
Faible	137	0,638	0,526	3,42	0,76	0,47	0,3	0,1	0,42
Moyenne	39	0,508	0,326	1,76	0,62	0,42	0,3	0,14	
Forte	3	0,497	0,414	0,97	0,97	0,32	0,2	0,2	
Consommation d'aliments à risque la semaine avant le recueil d'urine									
Non	95	0,595	0,493	3,42	0,75	0,44	0,29	0,11	0,47
Oui	84	0,622	0,497	2,69	0,71	0,475	0,32	0,1	
Consommation d'eau									
Robinet	103	0,624	0,529	3,42	0,75	0,47	0,29	0,1	0,97
Minérale	32	0,543	0,310	1,25	0,6	0,44	0,35	0,13	
Les deux	44	0,616	0,501	2,33	0,76	0,46	0,295	0,11	
Tabagisme actif									
Fumeurs	50	0,756	0,671	3,42	0,94	0,55	0,34	0,1	0,02
Ex-fumeurs	37	0,652	0,436	2,33	0,73	0,58	0,36	0,17	
Non-fumeurs	92	0,509	0,356	2,28	0,58	0,42	0,285	0,11	
Consommation de tabac cumulée tout âge (cig x an)									
Aucune	93	0,506	0,360	2,28	0,58	0,42	0,28	0,11	0,001
0 < C < 225	29	0,548	0,650	3,42	0,57	0,33	0,25	0,1	
225 ≤ C < 450	21	0,668	0,513	2,69	0,67	0,48	0,45	0,15	
450 ≤ C < 900	23	0,771	0,561	2,33	0,93	0,65	0,41	0,19	
900 ≤ C ≤ 2700	12	1,072	0,440	2,15	1,27	1,04	0,7	0,62	
Fumeurs dans l'entourage									
Oui	84	0,637	0,575	3,42	0,815	0,455	0,285	0,1	0,17
Non	95	0,581	0,398	2,33	0,65	0,47	0,36	0,14	

(Suite tableau3)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Alcool nombre de verres / semaine									
Aucun verre	65	0,653	0,608	3,42	0,66	0,42	0,3	0,2	0,25
0 < verre ≤ 1	24	0,459	0,231	0,97	0,6	0,46	0,245	0,12	
2 < verres ≤ 7	45	0,541	0,346	1,36	0,73	0,45	0,27	0,1	
7 < verres ≤ 28	39	0,607	0,325	1,44	0,82	0,58	0,33	0,14	
28 < verres ≤ 49	6	1,213	1,031	2,69	2,33	0,725	0,51	0,3	
Activités actuelles à risque									
Oui	8	0,916	0,794	2,69	1,065	0,79	0,355	0,22	0,13
Non	171	0,593	0,468	3,42	0,72	0,46	0,3	0,1	
Activités antérieures à risque									
Oui	10	0,68	0,387	1,36	1	0,56	0,36	0,32	0,33
Non	169	0,603	0,495	3,42	0,7	0,47	0,29	0,1	
Activités actuelles et antérieures à St Louis depuis 80									
Oui	22	0,676	0,465	2,15	0,75	0,495	0,37	0,18	0,09
Non	157	0,598	0,493	3,42	0,7	0,46	0,29	0,1	
Consommation de fruits et légumes du jardin en 1999									
Non	21	0,805	0,840	3,42	0,8	0,51	0,34	0,15	0,07
Oui	43	0,660	0,413	2,33	0,82	0,53	0,39	0,2	
Non-réponse	115	0,552	0,418	2,33	0,64	0,43	0,29	0,1	
Consommation de fruits et légumes issus de jardin exposé									
Jamais	126	0,591	0,501	3,42	0,69	0,445	0,29	0,1	0,34
Rarement	24	0,630	0,493	2,28	0,85	0,42	0,305	0,15	
Plus.fois/mois	16	0,72	0,499	2,33	0,815	0,565	0,46	0,28	
Souvent	13	0,587	0,357	1,47	0,67	0,51	0,39	0,2	
Consommation de légumes dans la zone exposée une semaine avant recueil urine									
Non	173	0,614	0,495	3,42	0,74	0,47	0,3	0,1	0,66
Oui	6	0,432	0,167	0,72	0,48	0,425	0,28	0,26	
Consommation de fruits et légumes issus de jardin exposé									
Non	142	0,618	0,528	3,42	0,74	0,465	0,29	0,1	0,75
Oui	37	0,570	0,296	1,36	0,73	0,47	0,36	0,15	
Utilisation de menthe cultivée dans la zone exposée									
Non	108	0,599	0,510	3,42	0,665	0,455	0,305	0,1	0,71
Oui	71	0,620	0,457	2,33	0,79	0,47	0,28	0,12	

(Suite tableau3)

	N	Moy.	Ecart type	Max	Q75	Q50	Q25	Min	p
Durée de logement en zone exposée depuis 1980									
durée < 10 ans		0,542	0,341	1,47	0,7	0,465	0,28	0,15	ns
10 ans ≤ durée < 16ans	18	0,590	0,537	2,69	0,76	0,365	0,26	0,1	en
16 ans ≤ durée	38	0,622	0,493	3,42	0,74	0,47	0,34	0,13	linéaire
	123								
Activité de loisirs en rapport avec l'utilisation de cadmium									
Oui	31	0,628	0,458	2,33	0,87	0,45	0,29	0,16	0,76
Non	147	0,601	0,497	3,42	0,69	0,47	0,3	0,1	

ANNEXE 6. QUESTIONNAIRES ENFANTS ET ADULTES

**ANNEXE 7. FEUILLES DE CONSENTEMENT ET COURRIERS DES RESULTATS
ADRESSES AUX FAMILLES ET AUX MEDECINS**