



**ENSP**

ÉCOLE NATIONALE DE  
LA SANTÉ PUBLIQUE

**RENNES**

---

Médecin-Inspecteur de santé publique

Jury : avril 2000

---

## **Evaluation de l'exposition des enfants au plomb d'origine industrielle :**

### **Le cas de l'usine Octel de Paimboeuf**

---

**PHILIPPON Jean-François**

## Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement M. F. MANSOTTE qui, du fait d'une surcharge de travail particulièrement importante durant cette période, a pris la peine de corriger ce travail sur son temps de repos.

Je remercie également tout spécialement Mme M. LEGEAS pour la justesse de ses critiques, et la promptitude de ses réponses.

Enfin un grand merci à toutes les autres personnes sans qui ce travail n'aurait pas été possible : Mme J. DANIEL, Mme M. PRAT, Mme M.A. GORAGUER, Mme M. LEDRANS, M. P. GLORENNEC, M. M. ROMAGNOLI, , M. L. GUEGUEN, M. C. BALLY, M. R. PROST et M. H. GREAUD.

# Sommaire

<b>Remerciements .....</b>	<b>i</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>1</b>
<b>Principaux sigles employés .....</b>	<b>3</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>Le contexte .....</b>	<b>5</b>
I ] Terrain de référence et d'observation .....	5
II ] Emergence du problème étudié .....	6
<b>Le plomb : Rappels fondamentaux .....</b>	<b>8</b>
I ] Le plomb .....	8
II ] Les sources d'exposition : actuelles ou de passé récent .....	8
III ] Le plomb dans les sols et les végétaux .....	9
IV ] Les voies d'exposition .....	12
V ] Toxicocinétique du plomb .....	13
<b>Clinique et Indicateurs Biologiques .....</b>	<b>17</b>
I ] Clinique .....	17
II ] Indicateurs biologiques .....	20
<b>Historique du site d'Octel à Paimboeuf .....</b>	<b>23</b>
I ] Le "Composé Octel" .....	23
II ] La surveillance environnementale .....	24
III ] Les problèmes médicaux .....	24
IV ] Evolution des risques .....	27
V ] Le plomb et les maladies professionnelles .....	27
VI ] Historique des émissions et rejets dans l'environnement .....	27
VII ] En conclusion .....	32
<b>Analyse démographique et socio-historique .....</b>	<b>33</b>
I ] Détermination de la population potentiellement exposée .....	33
II ] Expérience et avis des professionnels locaux et de la population .....	37
<b>Etudes effectuées à Paimboeuf de 1976 à 1997 .....</b>	<b>40</b>
I ] La thèse du Docteur Paul Gruget .....	40
II ] Campagne d'application en France de la Directive Européenne du 29 Mars 1977 .....	43
III ] Bilan des activités de dépistage du saturnisme infantile de 1992 à 1997 .....	47
<b>Etude environnementale .....</b>	<b>49</b>
I ] Etude des vents dominants .....	49
II ] L'étude ANTEA de 1996 .....	52
III ] "L'expertise Paimboeuf" de l'INRA du 26 janvier 1999 .....	54
IV ] Expertise INRA du 1 <sup>er</sup> février 2000 : .....	61
<b>Analyse Métrologique .....</b>	<b>68</b>
I ] Analyse générale .....	68
II ] Exposition résultant de la pollution des sols .....	70
III ] Exposition résultant d'une pollution éventuelle de la chaîne alimentaire .....	70
IV ] Calcul de la concentration maximale tolérable dans les sols .....	71
V ] Estimation de la plombémie à l'aide du modèle IEUBK .....	74
<b>Analyse des retours d'expériences .....</b>	<b>77</b>
I ] Le cas de "Métal-Blanc" à Bourg Fidèle (Ardennes) .....	77

II ]	Le cas d'Arnas à Villefranche-sur-Saône (Rhône) -----	78
III ]	Le cas de l'usine T.P.C. à Seurre (Bourgogne) -----	79
<b>Critique et Discussion .....</b>		<b>81</b>
I ]	Analyse des émissions polluantes de l'usine -----	81
II ]	Critique des études INRA -----	81
III ]	Analyse historique -----	82
IV ]	Critique de l'analyse métrologique -----	83
V ]	Analyse comparative avec Bourg-Fidèle, Seurre et Arnas -----	83
VI ]	Les scénarios possibles -----	86
<b>Conclusion et Propositions .....</b>		<b>88</b>
I ]	Réponse à la question posée -----	88
II ]	Propositions -----	88
III ]	Le guide méthodologique de l'InVS -----	88
IV ]	L'analyseur LeadCare -----	89
V ]	Conclusion -----	89
<b>Bibliographie .....</b>		<b>90</b>
<b>Réglementation .....</b>		<b>98</b>
<b>Principales personnes rencontrées à l'occasion de ce mémoire .....</b>		<b>100</b>
<b>Index des cartes .....</b>		<b>101</b>
<b>Index des graphiques .....</b>		<b>101</b>
<b>Index des histogrammes .....</b>		<b>101</b>
<b>Index des photos .....</b>		<b>101</b>
<b>Index des tableaux .....</b>		<b>101</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>103</b>
I ]	Annexe A : Normes et valeurs limites dans les produits -----	103
II ]	Annexe B : Auto-Surveillance Octel (2 pages) -----	107
III ]	Annexe C : Météo-France (2 pages) -----	109
IV ]	Annexe D : Analyseur portable de plombémie -----	111

## Principaux sigles employés

- AJA** : Apport Journalier Admissible.
- BRGM** : Bureau de Recherche Géologique et Minière.
- CAP** : Centre Anti-Poison.
- CHU** : Centre Hospitalier Universitaire.
- CIRE** : Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie.
- CSHP** : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique.
- DDASS** : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales.
- DGS** : Direction Générale de la Santé.
- DJA** : Dose Journalière Admissible.
- DRASS** : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales.
- DRIRE** : Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement.
- DRTE** : Direction Régionale du Travail et de l'Emploi.
- EPA** : Environmental Protection Agency.
- FAO** : Food and Agriculture Organisation.
- ICPE** : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.
- IEUBK** : Integrated Exposure Biokinetic Model for Lead in Children.
- INRA** : Institut National de la Recherche Agronomique.
- INSEE** : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.
- INSERM** : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale.
- InVS** : Institut de Veille Sanitaire.
- JEFCA** : Joint Expert Committee on Food Additives.
- MISP** : Médecin Inspecteur de Santé Publique.
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé; (**WHO** : World Health Organisation).
- ORS** : Observatoire Régional de la Santé.
- PTE** : Plomb Tétrahyle.
- PTM** : Plomb Tétraméthyle.
- QI** : Quotient Intellectuel.
- QSI** : Quantité de Sol Ingérée.
- RNSP** : Réseau National de Santé Publique.

## Introduction

Cette étude fait suite à une commande de la DDASS et a pour objectif d'orienter l'administration dans sa décision concernant les mesures sanitaires à prendre pour la ville de Paimboeuf.

La problématique est celle-ci : ***Faut-il réaliser dans l'immédiat, un dépistage du saturnisme par prélèvement sanguin chez les enfants résidant dans une zone, restant à définir, autour de l'usine Octel de Paimboeuf.***

En effet le saturnisme, ou **intoxication chronique par le plomb minéral**, provoque, lorsqu'il touche les enfants, une **baisse significative du Quotient Intellectuel (QI)**. Son dépistage est apparu depuis plusieurs années comme une mesure essentielle de santé publique.

Le plomb incriminé dans ces intoxications a une origine domestique (vieille peinture et eau chargée en plomb) ou industrielle, lors de la pollution de l'environnement. C'est le cas de l'usine Octel.

Le dosage du plomb dans le sang, ou **plombémie**, permet de quantifier cette possible intoxication. Des résultats supérieurs aux normes considérées à l'heure actuelle comme inoffensives, justifient alors des mesures de prévention ou de prise en charge sanitaire.

Mais la détection du saturnisme par prélèvement sanguin, geste invasif chez de jeunes enfants, est un acte qui peut être considéré comme porteur d'une certaine violence. Dans ces conditions, il est toujours à craindre que la mise en place d'une campagne de mesure de la plombémie dans une communauté génère inutilement de grandes inquiétudes.

Un tel dépistage autour d'un site industriel ne doit donc être envisagé que si l'on estime que la population infantile est réellement exposée à un risque dû au plomb. Cette estimation se doit, bien évidemment, d'être la plus argumentée possible. C'est l'objet de ce mémoire.

Le travail lui-même débutera par une analyse situant l'étude dans son contexte géographique et administratif.

Plusieurs rappels fondamentaux seront ensuite nécessaires. Ils aborderont le métal plomb, son impact sur la physio-pathologie humaine et les désordres cliniques que l'intoxication provoque. Nous évaluerons aussi les indicateurs biologiques à notre disposition.

L'analyse des conséquences des activités d'Octel sur l'environnement débutera par un examen historique des émissions polluantes du site. Nous estimerons celles-ci grâce à des indicateurs proprement physiques de relargage du plomb dans l'environnement, mais également en examinant les plombémies des personnes les plus exposées : le personnel d'Octel.

Après cette rétrospective nous effectuerons une analyse démographique, et socio-historique. Le bilan démographique chiffrera la population exposée et sa localisation géographique. Les entretiens avec les professionnels locaux donneront une autre vision du problème, plus subjective certes mais débusquant peut-être des faits jusque là oubliés.

Pour estimer une telle pollution il faut également rechercher l'existence d'anciennes études sur la même problématique. Les résultats de cette recherche seront présentés dans la partie faisant immédiatement suite à l'analyse socio-historique.

L'étude des trois campagnes de prélèvements environnementaux sera plus technique mais indispensable à l'analyse métrologique, dans laquelle nous essaierons de quantifier les risques pour la population infantile exposée.

Bien souvent quand l'estimation d'un risque est difficile, il est intéressant de se référer à des situations analogues. Nous analyserons donc les retours d'expériences de trois sites comparables.

Le corps principal de ce travail se terminera par une critique du matériel utilisé et une discussion sur les méthodes.

Enfin conclusion et propositions recadreront la problématique.

## Le contexte

### 1] Terrain de référence et d'observation

Carte N° 1 Localisation de Paimboeuf

Le site concerné est l'usine d'OCTEL, ses environs immédiats et la ville de Paimboeuf (2 758 h en 1999)<sup>a</sup>.

Cette usine implantée depuis les années 1930 a fabriqué et stocké jusqu'en 1998 des composés anti-détonants pour carburant à base de plomb (plomb tétraéthyle et tetraméthyle).

Les activités de production proprement dites ont cessé depuis le 20 décembre 1996. Depuis le début de l'année 1997 n'étaient donc plus présentes sur le site que des activités à caractère logistique. Il s'agissait surtout, entre autres, de stockage de plomb alkyle et d'équipements de décontamination.

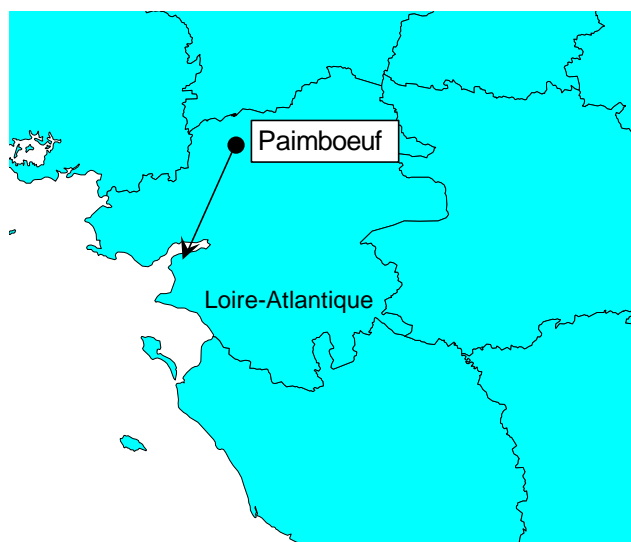


Photo N° 1 L'usine Octel.



**L'usine OCTEL de Paimboeuf**  
(Installation Classée)

<sup>a</sup> Recensement INSEE 1999.

Le démontage des équipements a concerné en premier lieu les ateliers de production. Les tuyauteries et capacités métalliques ayant été en contact avec du plomb ou des composés de plomb ont, après démontage, fait l'objet d'une décontamination systématique. Les ferrailles décontaminées ont ensuite été envoyées en fonderie.

La démolition des bâtiments a été engagée en 1998. Les éléments résultant de cette action sont échantillonnés puis analysés de manière à évaluer leur charge polluante et la mobilité du plomb qu'ils contiennent. En fonction du potentiel de pollution qu'ils présentent, ils peuvent faire l'objet de traitements spécifiques. Les gravats sont éventuellement éliminés dans des installations extérieures.

Il restait à effectuer plusieurs évaluations. L'estimation de la contamination des sols au niveau du site proprement dit, de ses environs, de la ville de Paimboeuf et l'état des eaux souterraines. La phase de diagnostic initial du site a été engagée par l'entreprise avec le concours de l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA).

Les conditions de fin d'exploitation et de remise en état du site sont réglementées au titre de la loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

## **II ]      *Emergence du problème étudié***

### **A ) Historique.**

En juin 1999, après plusieurs polémiques développées autour des sites industriels des usines de "Métal Blanc" à Bourg Fidèle (dans les Ardennes) et de "Métaleurop" à Arnas (dans le Rhône), l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) attire l'attention des services Santé Environnement de la DDASS sur les impacts possibles des activités d'Octel dans la population de Paimboeuf et particulièrement chez les enfants.

A la même époque cette usine faisait l'objet d'un suivi par la Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE), relatif aux conditions de fin d'exploitation.

La conjonction de cet ensemble de faits incitait le service Santé Environnement de la DDASS et ses partenaires institutionnels (DRIRE) à envisager la réalisation d'un diagnostic environnemental du site de Paimboeuf, la démarche entreprise devant permettre d'évaluer l'exposition au risque saturnin des populations environnantes.

L'analyse de ce risque pourrait ensuite provoquer une décision quant à l'opportunité d'engager une éventuelle opération de dépistage de la plombémie chez les populations riveraines non professionnellement exposées, et plus particulièrement chez les enfants.

### **B ) Mise en place du programme de travail.**

Afin d'organiser cette opération, une première réunion exploratoire réunissant la société Octel, la DRIRE, et la DDASS s'est tenue le 29 juin 1999 dans les locaux du laboratoire de l'usine Octel (laboratoire Calydra à Paimboeuf). Cette réunion, organisée sur l'initiative de la DDASS, a eu pour objet de rassembler les éléments existants et de définir le programme de travail.

Les représentants de la société OCTEL ont rappelé l'historique de la production des additifs anti-détonants à base de plomb par l'usine de Paimboeuf. L'accent a été mis sur les problèmes liés à la protection des salariés et aux mesures prises pour éviter la contamination de l'environnement. La direction de l'usine et la DRIRE ont également exposé le premier rapport de l'expertise environnementale commanditée auprès de l'INRA<sup>a</sup>.

Le deuxième rapport de l'INRA ayant pu être définitivement terminé fin janvier 2000, une réunion a eu lieu le jeudi 3 février 2000. A cette occasion, le professeur René PROST de l'INRA nous a présenté divers résultats. Il s'agissait de mesures de concentration en plomb effectuées à Paimboeuf sur des eaux de mares, sur des vases et sur des végétaux.

<sup>a</sup> Prost R., 1999, Réf. Biblio. n°136.



Les deux rapports de l'INRA commandités par la DRIRE servent de base à cette étude.

## Le plomb : Rappels fondamentaux

### I ] *Le plomb<sup>a</sup>*

Le plomb est un métal grisâtre dont la coupure fraîche est brillante mais qui se ternit assez rapidement à l'air. Avec une masse volumique de  $11,3 \text{ g/cm}^3$ , c'est le plus dense des métaux usuels. Mais c'est aussi le moins dur, on le raye à l'ongle et on le coupe au couteau. Le bord d'une lame de plomb, frotté sur une feuille de papier, y laisse une trace grise, comparable à un trait de crayon.

Un des alliages de plomb le plus fréquemment utilisé est formé avec l'étain (la soudure des plombiers).

Très largement utilisé depuis l'antiquité dans beaucoup d'activités humaines (entre autres réalisation de tuyauteries d'adduction d'eau), l'utilisation du plomb est aujourd'hui en nette diminution dans les pays occidentaux.

Dans l'environnement, à l'état naturel, on retrouve la présence de plomb en faible quantité dans les sols (de 0 à 50 ppm), en dehors de tout gisement.

Cependant jusqu'à une date très récente une grande quantité de plomb a été émise dans l'environnement. Par-là même le plomb se trouve actuellement à une concentration nettement supérieure dans l'ensemble des compartiments environnementaux (air, eau, sols, poussières, végétaux...) surtout lorsque ceux-ci jouxtent les activités humaines.

Il convient ici d'introduire la notion de spéciation du plomb. Ce concept vise à prendre en compte les inégalités toxiques des différentes formes physiques, chimiques ou biochimiques que peut prendre le métal. L'expertise collective de l'INSERM classe la biodisponibilité en échelle croissante suivant la liste suivante : sulfure de plomb, silicate de plomb, sulfate de plomb, oxydes de plomb et chlorure de plomb.

### II ] *Les sources d'exposition : actuelles ou de passé récent*

#### A ) Sources d'exposition liées aux activités industrielles

##### 1°) Fabrication d'anti-détonant :

Dans un passé très récent la fabrication de plomb tétraéthyl et tétraméthyl comme additif antidétonant pour super-carburant a été une source non négligeable de contamination de l'environnement, lors de sa fabrication puis lors de son utilisation par le parc automobile fonctionnant au super plombé.

Au niveau mondial, encore bien peu de pays ont définitivement aboli l'utilisation de ces additifs. Depuis l'année 2000 les autorités françaises ont interdit l'usage de ce super "plombé". Le super vendu actuellement est muni d'un additif anti-détonnant sans plomb.

##### 2°) Autres sources de plomb :

De nos jours les sources de plomb sont surtout constituées par les industries d'extraction minière, de métallurgie de métaux non ferreux, de fabrication d'accumulateurs, de récupération des métaux....

Signalons également les activités d'incinération des ordures ménagères qui restent parmi les plus "productives" en matière de pollution par le plomb.

<sup>a</sup> INSERM Expertise Collective, 1999, Réf. Biblio. n°95 et Haguenoer J.M. Réf. Biblio.n°25.

## B ) Sources d'exposition liées aux activités domestiques :

### 1°) Liées à l'habitat :

#### a ) Les peintures :

Avant 1948 les peintures contenant des sels de plomb étaient très utilisées dans les habitations. Lors de leur dégradation, ces peintures s'écaillent et engendrent la création de poussières. Ces artefacts contiennent une grande concentration en plomb et peuvent provoquer d'importantes contaminations surtout chez les enfants.

#### b ) Les poussières :

Des poussières riches en plomb (autres que celles provenant de la dégradation de vieilles peintures) peuvent exister dans les maisons. Elles sont dues à des apports de plomb depuis l'extérieur par un milieu pollué, ou ramenées par des personnes en contact avec le métal durant leur travail. Elles peuvent aussi être dues à des activités de loisir (fabrication de plombs de chasse ou de pêche, miniatures en plomb, poterie, brûlage de vieilles peintures...).

### 2°) Liées au mode d'alimentation:

#### a ) L'eau de boisson :

De nos jours la présence de plomb dans les eaux de distribution publique provient très rarement de la ressource en eau. Cependant, en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, ces eaux peuvent se charger en plomb, par dissolution des tuyauteries (en plomb) ou des soudures (contenant un alliage d'étain et de plomb). Les réseaux présentant ce type de structures sur les portions publiques mais surtout privées sont encore largement répandus.

#### b ) Les aliments :

En fonction de l'origine des aliments consommés, l'alimentation contribue pour une part parfois non négligeable à l'apport en plomb.

Mais même en l'absence d'une consommation de ce type, il existe une exposition de fond, de la population des pays industrialisés, par accumulation du plomb dans la chaîne alimentaire et également par des techniques inappropriées de conditionnement ou de cuisson des denrées destinées à la consommation humaine ou animale.

Par ailleurs le plomb issu de la combustion des cigarettes peut conduire à une exposition des fumeurs et de leur entourage.

### 3°) Liées à l'âge:

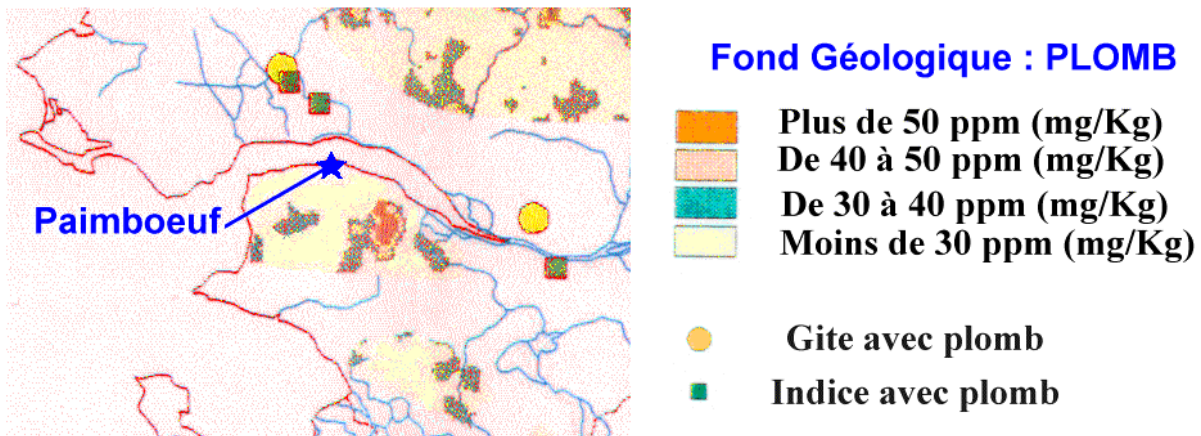
En raison de leurs comportements de "Pica" et de "main-bouche", les enfants sont plus fréquemment soumis aux risques engendrés par les écailles de peinture ou les poussières chargées en plomb.

## **III ] Le plomb dans les sols et les végétaux**

### A ) Dans les sols

Il existe un "fond géologique" représentant la teneur naturelle des sols en plomb. Le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) a cartographié l'ensemble de la France. En ce qui concerne la région de Paimboeuf (carte N°2) la teneur naturelle en plomb du sol est en moyenne de moins de 30 mg/Kg soit 30 ppm (partie pour million).

Carte N° 2 Fond géologique plomb (Carte BRGM/ANTEA janvier 1996)



En matière de valeurs de seuil il n'existe pas réellement en France de limites officielles. C'est pourquoi nous prendrons deux types de seuils d'alerte (en mg/Kg de matière sèche)<sup>a</sup> :

1°) Le seuil de 100 mg/Kg : il correspond aux teneurs maximales admissibles dans les sols, après épandage de boues de station d'épuration (arrêté du 8 janvier 1998).

2°) Le seuil de 530 mg/Kg, utilisé aux Pays-Bas, teneur à partir de laquelle des investigations complémentaires sont nécessaires. D'autres valeurs de seuil sont toutefois proposées par d'autres pays.

En définitive en fonction des teneurs en plomb que l'on symbolisera par "**P**" on a :

- Si  $P < 100$  mg/Kg : le sol est considéré comme "non contaminé".
- Si  $100$  mg/Kg  $< P < 530$  mg/Kg : "critère de statu quo". Le niveau de contamination du sol ne justifie pas un traitement mais simplement un suivi.
- Si  $530$  mg/Kg  $< P$  : "critère d'action". Le niveau de contamination du sol implique des investigations complémentaires pour prendre les mesures adaptées.

Les teneurs des sols en plomb ne constituent qu'un critère de l'évaluation du risque pour l'environnement et la santé. Sa mobilité et sa biodisponibilité doivent être pris en compte car elles déterminent l'extension spatiale de ce polluant et son intégration dans la chaîne alimentaire. La spéciation du plomb (état physico-chimique) et sa localisation dans différentes phases du sol déterminent cette mobilité et cette biodisponibilité. La spéciation constitue donc une donnée complémentaire intéressante pour l'évaluation du risque.

Ce métabolisme du plomb dans le sol dépend en fait de nombreux facteurs : humidité, pH, nature et stabilité de compartiments tels que ceux des matières organiques, des phosphates. En fonction du pH du milieu, le plomb est amené soit à se trouver sous forme d'ion libre et à se déplacer en solution, soit à s'adsorber sur les argiles, les hydroxydes et la matière organique du sol.

En pratique, la fuite sous forme de solution ou le transfert de ce métal est limité aux vingt premiers centimètres du sol. Six mois à un an après une pollution de surface le plomb y atteint une concentration quasi homogène qui sauf réhabilitation peut persister pour plusieurs décennies<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> PROST R. Réf. Biblio. n°136

<sup>b</sup> MENCH & Al. 1993 In PROST R. Réf. Biblio. n°136.

## B ) Dans les végétaux

Certains métaux sont indispensables à la croissance des végétaux; c'est le cas du zinc, du fer, du cuivre, du magnésium etc.... D'autres, comme le plomb, le mercure, l'arsenic n'ont pas de fonctions biologiques reconnues pour les plantes. Cependant, qu'ils soient indispensables ou sans rôles connus, une accumulation excessive de ces éléments est phytotoxique.

Les végétaux peuvent se contaminer par leurs racines ou par leurs parties aériennes lors de retombées atmosphériques de poussières émises par l'activité industrielle ou d'envols de particules de terre polluée. Ces poussières peuvent aussi persister à la surface des végétaux ou être fixées sur la cuticule, dans les poils épidermiques de la tige ou des feuilles.

Le transfert à la plante du plomb contenu dans le sol met en jeu des processus très complexes. Ceux-ci dépendent de la nature, de la concentration et de la spéciation du plomb<sup>a</sup>. L'accumulation dans les végétaux est variable en fonction de l'espèce et au sein d'une même espèce, selon la variété considérée<sup>b</sup>. De plus pour une plante donnée, la teneur en plomb n'est pas homogène. Elle varie d'un organe à l'autre. Elle peut donc être différente dans les racines, les tiges ou les feuilles. Toutefois il s'accumule préférentiellement dans les racines<sup>c</sup>.

De même qu'il n'existe pas vraiment, en France, de normes pour déclarer qu'un sol est pollué, il n'y a pas de normes ou de valeurs limites pour les teneurs en plomb dans les aliments destinés à l'homme. Ici aussi d'autres pays européens ont produit des normes. Celles des Pays Bas, de la Belgique, de l'Allemagne et de la Pologne sont citées en annexe<sup>d</sup>. Pour les produits destinés à l'alimentation animale, l'arrêté du 16 mars 1989, paru au Journal Officiel du 13 avril 1989, fixe les teneurs maximales en plomb; elle sont de 40 mg/kg pour des aliments à un même taux d'humidité (soit **45 mg/kg** de produit sec).

Dans notre travail, nous utiliserons comme valeurs de référence, pour l'alimentation humaine les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHP, 1996)<sup>e</sup>. Celles-ci fixent des limites en mg/Kg de poids frais (tableau N°1).

Pour évaluer la teneur en poids sec, on peut estimer que les légumes très hydratés contiennent 90 % d'eau, les moins hydratés comme les haricots en grain 70 %. Pour garder une marge de sécurité on a ici évalué tous les légumes comme ayant une hydratation de 90 %.

**Tableau N° 1 Conseil Supérieur d'Hygiène Publique (valeurs limites).**

<b><u>Conseil Supérieur d'Hygiène Publique</u></b> <i>Proposition de valeurs limites</i>	<b>PLOMB</b>	
	mg/Kg de poids frais	mg/Kg de poids sec
Céréales et produits dérivés	<b>0,5</b>	<b>5</b>
Légumes (sauf les exceptions suivantes)	<b>0,3</b>	<b>3</b>
Fruits	<b>0,3</b>	<b>3</b>
Céleris, épinards, salades	<b>0,5</b>	<b>5</b>
Choux	<b>0,5</b>	<b>5</b>
Conserves (sauf boissons) légumes	<b>0,3</b>	<b>3</b>
Champignons	<b>0,3</b>	<b>3</b>
Conserves de : céleri, épinards, salades, choux	<b>0,5</b>	<b>5</b>
Concentré de tomate	<b>1,5</b>	<b>15</b>

<sup>a</sup> MORENO G. & Al. 1995 In PROST R. Réf. Biblio. n°136.

<sup>b</sup> Mc LAUGHLIN & Al. 1997 In PROST R. Réf. Biblio. n°136.

<sup>c</sup> HUANG & Al. 1996 In PROST R. Réf. Biblio. n°136.

<sup>d</sup> Annexe A.

<sup>e</sup> CSHP Réf. Biblio. N°33.

## IV ] Les voies d'exposition<sup>a</sup>

Les voies de pénétration du plomb sont pulmonaire, digestive et secondairement cutanée.

### A ) L'absorption pulmonaire

Rappelons tout d'abord que la limite actuelle de la valeur de concentration de plomb dans l'atmosphère, en tant que moyenne annuelle, prescrite par la directive 82/884 de l'Union Européenne est de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aux Etats-Unis l'Environnement Protection Agency (EPA) a fixé un chiffre maximum à  $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le bureau européen de l'OMS a pour sa part recommandé en 1994 une valeur guide de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'absorption pulmonaire est importante pour les personnes exposées en milieu industriel dans l'environnement des entreprises polluantes, mais également pour toutes personnes vivant sous des rejets atmosphériques.

Le plomb atmosphérique peut être inhalé sous forme de vapeurs, de gaz ou de particules.

Les vapeurs et gaz migrent directement jusqu'aux alvéoles pulmonaires où ils passent dans le sang. Les particules métalliques se déposent sur les muqueuses des différents segments de l'appareil respiratoire en fonction de leur taille. Les plus grosses restent au niveau du rhino-pharynx et des grosses bronches souches. Les particules de tailles moyennes atteignent les bronchioles et les alvéoles. Les plus fines des particules diffusent directement au travers de la membrane alvéolo-capillaire.

Les grosses particules déposées sur des voies ciliées sont le plus souvent éliminées en 24 heures. Celles qui ont atteint des zones profondes non ciliées sont prises en charge par le système réticulo-histiocytaire, dissoutes, rejoignent le système lymphatique puis à terme le compartiment vasculaire sanguin.

Indépendamment de la taille et de la solubilité des particules la spéciation du plomb semble favoriser son absorption (les oxydes de plomb seraient plus absorbés que les sulfures).

### B ) L'absorption digestive

L'absorption de plomb par la voie digestive dépend de sa biodisponibilité, variable avec la solubilité du métal dans le tractus gastro-intestinal; celle-ci évolue entre autre avec le PH local (augmente avec l'acidité du PH). En effet le plomb doit être solubilisé pour être absorbé; de ce fait le plomb métallique ne serait assimilable qu'à 20 % au maximum (5 à 10 % en moyenne).

En fait des études plus précises ont montré que le pourcentage de plomb biodisponible augmente quand la dose de plomb ingérée diminue.

La littérature scientifique ne présente qu'un petit nombre d'études chez les enfants, mais il est certain que les taux d'absorption digestive du plomb sont beaucoup plus élevés que chez l'adulte (de 40 à 53 %).

Il existerait en fait deux modes d'absorption, l'une passive, non saturable et l'autre active, saturable. Cette dernière emprunterait pour une part les voies d'absorption du calcium, du fer et du magnésium.

Ici aussi de nombreux autres facteurs peuvent favoriser l'absorption du plomb. Citons les carences en fer ou en magnésium, en vitamines B1. Mais le facteur réellement le plus important est le mécanisme de compétition avec le calcium. Tout besoin supplémentaire en calcium (grossesse, lactation, croissance) favorise l'absorption du plomb.

### C ) L'absorption cutanée

Les composés organiques du plomb, liposolubles peuvent utiliser cette voie. Mais si la peau est lésée<sup>b</sup> cette voie pourrait également s'avérer importante pour des sujets manipulant des composés inorganiques du plomb.

<sup>a</sup> Réf. Biblio. n°31, 55 et 95.

<sup>b</sup> LILLEY & Coll. 1988 in INSERM, Réf. Biblio. N°95.

## VJ Toxicocinétique du plomb<sup>a</sup>

### A) Son transport sanguin

Après avoir été absorbé, le plomb passe dans le sang. Il s'y répartit entre les hématies, sous une forme non diffusible, et le plasma, en partie sous une forme diffusible. Il suit alors deux destins différents : soit il se fixe dans les tissus, soit il est éliminé par voie urinaire. Le compartiment sanguin est par là même un carrefour de tous les trajets du plomb dans l'organisme. Ce phénomène rend parfois complexe l'interprétation des plombémies.

Du fait de cette fixation tissulaire la plombémie ne représente donc en fait qu'environ 2 % du pool total de plomb de l'organisme.

### B) Son rapport érythro-plasmatique

Diverses études montrent que 90 à 95 % du plomb sanguin est lié aux hématies<sup>b</sup>.

Dans ces hématies 52 % du plomb est fixé à l'hémoglobine, 24 % à d'autres sites de liaison plus faibles, le reste est sous forme libre. Ce système d'accumulation du plomb dans les hématies est saturable.

Dans le plasma sanguin, une forte proportion du plomb est transportée par deux grands types de molécules (l'albumine pour 88,2 % et les gammaglobulines pour 11,4 %). L'autre partie du plomb plasmatique est libre et diffusible.

Le rapport érythro-plasmatique du plomb varie en fonction de son taux sanguin<sup>c</sup>. Ce rapport n'est pas linéaire, mais exponentiel. Pour une plombémie de 100 µg/l, 0,2 % du plomb sanguin total est plasmatique; pour une plombémie de 500 µg/l le plomb plasmatique représente 0,4 %, et pour une plombémie de 1 000 µg/l cette fraction augmente de 1,5 à 2 %.

Par voie de conséquence lorsque l'apport de plomb augmente, la fraction plasmatique de plomb augmente et par là même la partie libre et diffusible du plomb augmentant, une plus grande proportion peut se fixer dans les tissus.

### C) Facteurs de variation de la plombémie

Chez les adultes nouvellement exposés au plomb, il faut en moyenne six semaines pour atteindre un état stable<sup>d</sup>. La demi-vie sanguine du plomb est estimée à 20-30 jours<sup>e</sup>.

Après un arrêt de l'exposition, la plombémie diminue de façon constante pendant environ dix-huit semaines, puis subit une légère remontée.

En fait plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

1°) Chez les jeunes et chez les nouveaux exposés :

L'absorption est plus importante que le stockage. Il y a une meilleure corrélation entre plomb sanguin et exposition.

2°) Chez les sujets anciennement exposés :

Surtout chez les retraités ayant travaillé dans des industries polluantes, les femmes enceintes, les malades atteints de pathologies osseuses, le plomb sanguin est exclusivement corrélé à la résorption du stock de l'organisme. Pour toutes ces personnes, l'exposition ayant cessé, l'absorption est devenue négligeable<sup>f</sup>.

3°) Dans les cas intermédiaires :

<sup>a</sup> Réf. Biblio. n°31 et 95.

<sup>b</sup> Ong et Lee, 1980a in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Manton et coll. (1983, 1984), in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Griffin et coll., 1975, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>e</sup> Nilsson et coll., 1991, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>f</sup> Smith et coll. 1996, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

Le plomb sanguin reflète à la fois l'absorption due à l'exposition et la résorption du plomb tissulaire stocké.

## D ) Distribution du plomb dans l'organisme:

Dans les tissus mous, différents facteurs influencent la distribution du plomb. La répartition du plomb varie avec le mode d'absorption. L'accumulation varie également avec l'âge : jusqu'à 20 à 30 ans il s'accumule facilement dans le cerveau, jusqu'à 40-50 ans dans le cortex rénal et jusqu'à 90 ans dans les poumons<sup>a</sup>.

Dans les tissus osseux, le plomb représente de 80 à 95 % du plomb stocké dans l'organisme<sup>b</sup>. Cette concentration osseuse augmente avec l'âge jusqu'à 50-60 ans, puis diminue en raison de changements alimentaires, métaboliques et hormonaux. Les quantités accumulées peuvent atteindre 40 à 50 mg avec des expositions environnementales modérées, 200 mg lorsqu'elles sont élevées et même beaucoup plus dans les expositions professionnelles<sup>c</sup>. Ce stockage est plus élevé chez l'homme que chez la femme, qu'ils exercent ou non une activité professionnelle les exposant au plomb<sup>d</sup>.

Deux pools osseux doivent être distingués:

- Le plomb fixé dans l'os trabéculaire, qui a une demi-vie biologique de 2,4 ans<sup>e</sup>. Cette fraction reste biologiquement active, elle est mobilisable par administration des chélateurs<sup>f</sup>.
- Le plomb stocké dans l'os cortical, qui a une demi-vie moyenne de 9,5 ans<sup>g</sup>, parfois même beaucoup plus longue; elle est de 27 ans dans le tibia<sup>h</sup>. Cette fraction corticale, qui représente environ les 3/4 du plomb total de l'os, n'est pas mobilisable par les chélateurs<sup>i</sup>.

Il se crée à terme un équilibre de concentration du plomb entre les différents compartiments de l'organisme (tissulaire, osseux et sanguin). Diverses circonstances peuvent remettre en cause cet équilibre, en particulier toutes les étiologies à l'origine d'une déminéralisation osseuse ou de modifications de l'absorption (grossesses, ménopause, ostéoporose, fractures...). Ces déséquilibres, lorsqu'ils sont massifs, peuvent avoir pour conséquence une augmentation des concentrations en plomb des tissus mous (cerveau, tube digestif, rein ...), elle-même responsable de l'apparition de signes de saturnisme<sup>j</sup>.

On estime qu'une modification de 2 à 4,5 % par an du turn-over du plomb et des minéraux de l'os, pour un stock osseux total de 200 mg, conduit à une augmentation de la plombémie de 80 µg/l<sup>k</sup>.

Parmi les tissus durs, les dents forment un autre site de stockage du plomb. Le métal est ici principalement localisé au niveau de la dentine, dans les régions adjacentes à la pulpe dentaire.

Pendant longtemps les dents de lait ont d'ailleurs été utilisées comme marqueurs rétrospectifs d'exposition. Cependant deux écueils oblitèrent cette technique : le turn-over du plomb dans les dents (il est plus lent que dans l'os) et le teneur minérale des dents (elle est plus élevée). De plus les taux de plomb dans les différents compartiments de la dent sont très variables. Ils augmentent de la couronne vers la racine.

## E ) Devenir du plomb pendant la grossesse

Le plomb traverse la barrière placentaire dès les trois premiers mois de la grossesse. Lors de l'accouchement, les plombémies maternelles sont à peu près identiques à celle du cordon ombilical<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Stringer et coll., 1974, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Demichele, 1984, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Wittmers et coll., 1988, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Yoshinaga et coll., 1989, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>e</sup> Christofferson et coll., 1986, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>f</sup> Schutz et coll., 1987, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>g</sup> Christofferson et coll., 1986, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>h</sup> Nilsson et coll., 1991 in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>i</sup> Baloh, 1974, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>j</sup> Mushak, 1993, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>k</sup> Rabinowitz 1991, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.



La très grande sensibilité du fœtus aux effets toxiques du plomb est liée au faible développement de sa barrière méningée et à la grande susceptibilité de son tissu nerveux qui est, à ce stade, en évolution très rapide.

## F ) Plomb et allaitement

Il existe un risque toxique pour les enfants allaités. En effet pendant la lactation l'organisme maternel éprouve un besoin accru en calcium, et du fait des interactions du plomb avec le métabolisme calcique, on observe alors une mobilisation du plomb des stocks osseux associée à une augmentation de l'absorption du plomb d'origine externe.

La mobilisation du plomb durant l'allaitement est parfois supérieure à celle observée lors de la grossesse<sup>b</sup>.

## G ) Elimination

### 1°) Cinétique :

Le plomb est éliminé en trois phases<sup>c</sup> :

- Une phase dite "rapide", qui correspond à l'élimination du plomb non fixé.
- Une phase "lente", qui concerne la fraction faiblement liée.
- Une phase "très lente", qui s'étale sur plusieurs années; elle représente le plomb stocké au niveau osseux.

### 2°) Les voies de l'excrétion :

#### a ) L'urine :

C'est la voie principale. On estime à 75 % le plomb éliminé par les reins<sup>d</sup>. Toutefois l'état rénal du sujet influence cette plomburie. La plombémie peut augmenter au prorata du degré de l'insuffisance rénale alors que la plomburie reste normale<sup>e</sup>.

Utiliser la plomburie pour la surveillance biologique des personnes exposées au plomb présente un inconvénient majeur. Les résultats dépendent de l'état rénal du sujet. De plus ces résultats peuvent être constants quelle que soit la répartition du plomb entre le sang, les tissus mous et les os.

#### b ) Les fèces :

Chez un sujet non exposé, 207 à 271 µg/j de plomb sont éliminés par les selles. Cette fraction éliminée représenterait surtout le plomb non assimilé par voie digestive<sup>f</sup>.

#### c ) La salive :

Éliminé par les glandes salivaires le plomb emprunte ensuite la voie digestive et se comporte comme le plomb alimentaire.

#### d ) La transpiration :

Environ 12 µg de plomb par jour serait évacué par cette voie chez les sujets non exposés.

<sup>a</sup> Wan et coll., 1996, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Gulson et coll., 1998b, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Sugita 1978, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Alessio et coll. 1978a, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>e</sup> Botta et coll., 1976, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>f</sup> Thompson, 1971, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

## e) Les cheveux :

On retrouve une teneur en plomb d'environ 2 µg/g chez les individus non exposés et jusqu'à 14 µg/g chez les personnes exposées. Cependant les taux de plomb varient de façon importante d'un cheveu à l'autre<sup>a</sup>.

Il semble alors difficile d'utiliser les cheveux comme marqueurs de l'exposition au plomb. De plus il existe une possibilité de contamination externe non négligeable.

## f) Les ongles :

La grande variabilité des taux individuels rend également difficile l'utilisation des ongles pour une surveillance biologique.

**En résumé**, le métabolisme du plomb inorganique comporte plusieurs étapes :

- Une étape d'absorption (voies digestive et respiratoire).
- Une étape de transport sanguin (stockage transitoire du plomb dans les hématies).
- Une étape de distribution aux divers tissus de l'organisme.
- Une étape de fixation dans les organes de stockage (surtout l'os cortical) qui détermine l'existence d'un pool de métal.
- Une étape de relargage, depuis ces organes de stockage. Ce phénomène peut se produire plusieurs années après l'arrêt de l'exposition lors d'événements particuliers provoquant une modification de la trame osseuse (ostéoporose, fractures...) et au cours des diverses situations où les besoins en calcium augmentent (grossesse, allaitement...).

---

<sup>a</sup> Grandjean, 1978, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

## Clinique et Indicateurs Biologiques

### I ] Clinique

#### A ) Pendant la grossesse

##### 1°) Conséquences sur le développement cérébral du fœtus :

Les études épidémiologiques les plus récentes ont montré qu'une exposition à de faibles doses de plomb pouvait être responsable de troubles tardifs du développement neuro-psychique de l'enfant. Ces anomalies du développement peuvent exister même en l'absence de signes initiaux pouvant évoquer un saturnisme. Il faut insister sur la gravité particulière de la toxicité du plomb pendant la période de maturation cérébrale.

Cliniquement, après la naissance, on observe chez l'enfant différentes altérations, soit des déficiences intellectuelles globales modérées (mémoire, comportement), soit des troubles de la motricité fine ou encore des déficits sensoriels auditifs.

##### 2°) Autres conséquences de l'exposition pendant la grossesse :

###### a ) Avortements :

Un risque élevé d'avortements et une augmentation de la morti-natalité ont été observés chez des femmes exposées professionnellement avec des plombémies supérieures à 500 µg/l. A noter également l'utilisation du plomb comme moyen abortif<sup>a</sup>.

###### b ) Malformations congénitales :

Les études sur les animaux avec de fortes doses de plomb montrent une corrélation entre malformation congénitale et plombémie. Toutefois les études épidémiologiques sur l'homme analysant cette association sont à ce jour contradictoires. Les études en cours lèveront peut-être cette ambiguïté.

###### c ) Retard de croissance in-utérin :

Un ensemble d'études montre une relation inverse significative entre la taille ou le poids de naissance et la plombémie maternelle<sup>b</sup>.

###### d ) Prématurité :

Le risque de prématurité est corrélé à la plombémie. Il est augmenté d'un facteur d'environ 2,5 en cas d'exposition maternelle prénatale<sup>c</sup>.

#### B ) Chez l'enfant

Les effets globalement néfastes du plomb sur la santé sont connus depuis plusieurs siècles<sup>d</sup>. Toutefois la toxicité neurologique du plomb, à faible dose, particulièrement chez l'enfant, ne préoccupe les médecins que depuis peu.

L'exposition des enfants peut être pré-natale, nous l'avons vu, ou post-natale (comportement de "PICA", pollution environnementale...)

A la différence des intoxications massives pouvant être associées à un tableau clinique évocateur d'encéphalopathie, et responsables de séquelles neurologiques et psychomotrices graves, la symptomatologie d'une intoxication chronique par le plomb est peu spécifique, voire absente. On peut observer des difficultés scolaires, un retard psychomoteur, des troubles du comportement (nervosité, anomalies du sommeil...) ou même des troubles du développement (psychomoteur et intellectuel).

<sup>a</sup> Needleman et Bellinger, 1994, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Shukla et coll., 1989, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Baghurst et coll. 1987, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Belhngen 1994, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

Des études épidémiologiques ont montré des associations entre l'exposition au plomb et une diminution des fonctions cognitives. Des niveaux croissants d'exposition (appréciés par la plombémie) sont corrélés à des scores décroissants pour les indices globaux du développement intellectuel, estimés par le quotient intellectuel.

Pour des niveaux de plombémie compris entre 100 et 400 µg/l, les résultats de méta-analyses donnent une fourchette de baisse de 1 à 3 points du QI pour chaque augmentation de 100 µg/l de la plombémie. A ce jour, au-dessous d'une plombémie de 100 µg/l, aucune valeur seuil ne semble pouvoir être déterminée en deçà de laquelle les effets sur le QI seraient observables.

Pour cette raison, la mise en évidence de conséquences sur le système nerveux central, d'une exposition à de faibles doses de plomb, est difficile. Elle n'a pu être faite que sur des études épidémiologiques évaluant le retentissement à long terme sur le développement intellectuel et le comportement scolaire.

## C ) Actions sur le système nerveux de l'adulte

### 1°) Effets sur le système nerveux périphérique :

Une diminution de la vitesse de conduction nerveuse motrice et sensitive prédominant au niveau des membres supérieurs (nerf médian) peut déjà être constatée pour une plombémie de l'ordre de 140 µg/l<sup>a</sup>. Au niveau des membres inférieurs les altérations de la vitesse de conduction sont plus variables suivant les individus.

Les manifestations cliniques de parésies, ou même de paralysies, particulièrement du nerf radial, sont rares et ne surviennent que pour des plombémies supérieures à 1200 µg/l<sup>b</sup>.

Il s'agit le plus souvent d'une paralysie des muscles extenseurs des extrémités, associée à des tremblements de la main et des doigts avec une diminution de la force de préhension<sup>c</sup>.

Les deuxième, troisième et quatrième doigts sont alors en semi-flexion mais les muscles extenseurs de l'index et de l'auriculaire conservant leur tonicité, on est en présence d'une main qui "fait des cornes".

### 2°) Effets sur le système nerveux central :

Des troubles neurologiques multiples peuvent être associés à une élévation de la plombémie de 200 à 400 µg/l : irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, fatigue, dépression etc...Elles sont comparables à celles rapportées chez l'enfant intoxiqué.

L'encéphalopathie aiguë ne survient que pour des plombémies de l'ordre de 1000 µg/l et jamais en dessous de 700 µg/l. Elle conduit au coma et à la mort en quelques heures si elle n'est pas rapidement traitée. En cas de guérison, les séquelles invalidantes sont fréquentes.

## D ) Effets sur l'appareil reproducteur

### 1°) Chez l'homme :

Une exposition chronique au plomb de plusieurs années (5 à 10 ans) avec des plombémies supérieures à 400 µg/l, peut provoquer une diminution de la production des spermatozoïdes, ce qui accroît le risque d'hypofertilité. La motilité des spermatozoïdes ne semble toutefois pas affectée.

Pour les plombémies inférieures à 400 µg/l l'effet du plomb sur la reproduction paraît faible ou même inexistante.

### 2°) Chez la femme :

Les effets délétères sur la grossesse d'une exposition à fortes doses de plomb sont connus : avortement, mort fœtale, malformations et altérations de la croissance fœtale, prématurité.

<sup>a</sup> Cézard et Haguenoer, 1992, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Gilioli et Grazia-Cassito, 1978, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Browning, 1961, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

De plus chez l'animal une intoxication chronique semble affecter l'ovaire et l'axe hypothalamo-hypophysaire. Cependant il conviendrait de vérifier la nature de ces effets sur l'espèce humaine.

## E ) Effets hématologiques

L'intoxication par le plomb entraîne des perturbations hématologiques, portant préférentiellement sur la lignée érythrocytaire. Les classiques hématies à granulations basophiles ne se rencontrent toutefois qu'associées à des intoxications sévères.

L'anémie, définie comme la baisse du taux d'hémoglobine, apparaît pour une valeur de la plombémie supérieure à 400 µg/l. Lors d'intoxications aiguës, on observe une anémie hémolytique, alors que l'intoxication chronique provoque une anémie microcytaire, avec un déficit en fer souvent associé.

Deux mécanismes biochimiques permettent d'expliquer cette anémie microcytaire:

- L'inhibition de la synthèse d'hème, et donc de l'hémoglobine.
- La durée de vie raccourcie des érythrocytes (hémolyse)<sup>a</sup>.

## F ) Effets sur les fonctions rénales

Certaines des études suggèrent qu'une intoxication de longue durée, même avec des plombémies faibles (<100 µg/l) pourrait exercer un effet négatif sur la fonction rénale. Il n'existe pas d'indication permettant de juger de la réversibilité éventuelle de ces effets. De plus aucune étude n'a jusqu'à présent examiné la susceptibilité particulière de certains groupes: enfants, diabétiques, insuffisants rénaux chroniques...

En cas d'intoxication aiguë par le plomb, on observe des lésions tubulaires proximales caractéristiques du syndrome de Fanconi. Cette pathologie est généralement concomitante d'une encéphalopathie aiguë. La plombémie est alors bien souvent supérieure à 1500 µg/l.

## G ) Effets sur le système cardio-vasculaire

Lors d'intoxications aiguës par le plomb, avec coliques saturnines, on a décrit des épisodes d'hypertension paroxystique. Toutefois l'ensemble des études n'indique pas de façon formelle un effet à faible dose sur la tension artérielle. Si l'association existe, elle est certainement très faible.

Sur la base des données épidémiologiques et des expériences animales, il est possible que le plomb à fortes doses puisse agir sur la pression sanguine. Il n'est donc pas exclu de considérer comme positives les associations mises en évidence aux faibles doses.

## H ) Effets sur les fonctions digestives

Au niveau du tube digestif, l'intoxication aiguë provoque la classique "colique de plomb saturnine"; cependant celle-ci n'est que rarement observée chez l'enfant. Par contre, ce dernier présente fréquemment, pour des plombémies supérieures à 500 µg/l, des douleurs abdominales, une constipation, une anorexie et parfois des vomissements.

## I ) Effets sur d'autres fonctions ou organes

1°) Action sur la croissance :

Le poids et la taille de l'enfant sont corrélés négativement avec sa plombémie pour des valeurs comprises entre 50 et 350 µg/l<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Bottomley et Muller-Eberhard, 1988, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> DDASS du Rhône, Réf. Biblio. n°44.

## 2°) Action sur la thyroïde :

Le plomb exerce un effet dépresseur sur la glande thyroïde pour des niveaux d'exposition élevés (plombémie > 700 µg/l)<sup>a</sup>. Les enfants n'apparaissent pas plus susceptibles que les sujets adultes<sup>b</sup>.

## 3°) Effet cancérigène :

Une conjonction d'études semble indiquer qu'une exposition professionnelle au plomb pourrait être associée à une augmentation du risque de cancer (rein<sup>c</sup> et bronche<sup>d</sup>). Il semble donc logique de considérer le plomb comme cancérigène.

Il n'existe cependant aucune étude ayant établi, dans la population générale, la relation entre une exposition au plomb et l'incidence de ces cancers.

## II ] Indicateurs biologiques

Quelle stratégie peut-on utiliser pour estimer l'intensité de l'intoxication des populations ? En effet en cas d'intoxication à faible dose, qu'elle soit aiguë ou chronique, la symptomatologie clinique est peu spécifique alors que les effets pathogènes sont déjà présents.

Une première approche consiste à déterminer, par les moyens analytiques, le degré de contamination du toxique dans l'ensemble des composantes de l'environnement général (air, eau, aliments, logement...). Cette démarche a l'avantage de permettre de quantifier et de hiérarchiser le risque selon son origine.

Cependant, la multiplicité des sources de pollution par le plomb constitue l'une des difficultés évidentes de l'évaluation du degré d'imprégnation individuel.

Une deuxième approche plus invasive permet d'estimer l'exposition individuelle en dosant le plomb lui-même dans différents échantillons biologiques.

Ces indicateurs biologiques présentent l'avantage d'intégrer l'ensemble des sources auxquelles l'individu est exposé et d'évaluer ainsi plus précisément l'imprégnation individuelle. Ils ont par contre l'inconvénient majeur d'être d'une précision encore insuffisante (fluorescence X) ou d'être de réalisation sanglante.

### A ) La plombémie

La demi-vie du plomb dans le sang est d'environ 30 jours. Le sang peut donc être un matériel biologique satisfaisant en tant qu'indicateur individuel d'exposition à *court terme*. La plombémie a d'ailleurs été largement utilisée dans beaucoup d'études épidémiologiques<sup>e</sup>.

Toutefois en raison de sa demi-vie sanguine très courte sa corrélation avec les résultats psychométriques n'est pas parfaite. En effet la plombémie donne un reflet du taux de plomb sanguin le jour du prélèvement. Ce taux dépend des entrées et sorties mais aussi du stock interne de plomb (os, tissus mous)<sup>f</sup>.

Certes à l'état d'équilibre lors d'expositions stables, la plombémie permet d'évaluer la quantité totale de plomb stocké par l'organisme. Cependant, elle peut la surévaluer lors de contaminations récentes et d'événement intercurrent (grossesse, fracture osseuse, etc...) ou la sous-évaluer si l'exposition est plus ancienne.

Techniquement le dosage de la plombémie est délicat, surtout en milieu susceptible d'être contaminé par du plomb. Le prélèvement doit être réalisé de façon rigoureuse pour éviter toute contamination de l'échantillon.

<sup>a</sup> Tuppurainen et coll 1988, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Siegel et coll., 1989, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Baker et Coll, 1980, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Lundstrom et Coll, 1997, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>e</sup> David et coll., 1972, 1976 a et b, 1977, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>f</sup> Squinazi, 1991, Réf. Biblio. n°147.

En épidémiologie un problème éthique majeur oblitère toutefois ce type d'approche : l'obligation d'un prélèvement sanguin. Chez l'adulte, il est toujours possible de recourir au volontariat, mais avec comme inconvénient un biais statistique de représentativité. Par contre, la nécessité d'une campagne de dépistage du saturnisme, par plombémie chez l'enfant, doit être dûment motivée.

La plombémie constitue, malgré ses inconvénients, un indicateur de référence assez bien standardisé.

## B ) La plomburie

En épidémiologie, la concentration de plomb urinaire est d'un intérêt assez limité. Elle est cependant encore parfois utilisée pour la surveillance des individus professionnellement exposés.

## C ) Mesure du plomb dans les cheveux

Le plomb, comme tous les métaux lourds, se concentre dans tous les poils des mammifères [4]. Les poils particuliers que sont les cheveux peuvent être recueillis sans porter grand préjudice au donneur. Faciles à conserver, ils ont été utilisés en tant qu'indicateurs épidémiologiques d'exposition<sup>a</sup>.

La concentration de plomb dans les premiers centimètres du cheveu permet d'obtenir le degré moyen d'exposition des deux à trois derniers mois. En effet un cheveu pousse d'environ 1 cm par mois, mais avec un temps de latence d'un mois entre la formation du cheveu dans les cellules du bulbe pileux en contact avec le sang et sa sortie cutanée<sup>b</sup>.

Le prélèvement de cheveux sur les trois premiers centimètres à ras du cuir chevelu, permet d'obtenir le degré moyen d'exposition entre le début du deuxième mois et la fin du quatrième mois précédant le prélèvement.

Les résultats des mesures du plomb dans les cheveux sont ainsi moins sensibles aux variations sanguines de court terme.

Mais au-delà des huit premiers centimètres la contamination exogène du cheveu devient importante<sup>c</sup>. Aucune technique ne permettant de différencier le plomb interne au cheveu du plomb exogène, la mesure peut induire une surestimation de l'imprégnation saturnine. Au-delà du dixième centimètre les quantités mesurées peuvent atteindre deux à trois fois les valeurs initiales mesurées à proximité du cuir chevelu<sup>d</sup>.

Contrairement à la plombémie, aucun système de référence bien établi n'accompagne cet indicateur. Aussi, alors qu'il est de bien meilleure acceptabilité, cet indicateur ne peut constituer qu'un complément pour des populations chez lesquelles la contamination externe du cheveu est exclue.

## D ) Mesure du plomb dans les dents

Les dents et surtout les dents de lait ont été utilisées pour évaluer l'imprégnation saturnine<sup>e</sup>.

L'interprétation des mesures dépend du type de dent et de la fraction analysée : dent totale, dentine, dentine circumpulpaire. Ces tissus ont en effet la propriété de concentrer les métaux lourds, le plomb en particulier, et constituent par là même un matériel biologique attrayant et pertinent. L'analyse des dents offre l'avantage de refléter une exposition encore plus lointaine que les analyses effectuées sur les cheveux ou le sang; elles pourraient donc être complémentaires.

Mais ici aussi aucun système de référence bien établi n'accompagne cet indicateur; bien qu'il soit de bonne acceptabilité il ne peut constituer qu'un complément.

<sup>a</sup> Pihl et Parkes, 1977, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Rabinowitz et coll., 1976, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>c</sup> Huel et coll., 1984, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>d</sup> Renshaw et coll., 1972, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>e</sup> Al-Mahroos et Al-Saleh, 1997, in GRUGET P. Réf. Biblio. n°80.

## E ) Mesure du plomb dans les os

Le plomb stocké dans les os peut être mesuré par une technique non invasive : "La fluorescence X". Toutefois la sensibilité de la méthode paraît encore un peu limitée avec un coût d'appareillage élevé<sup>a</sup>. A l'échelle épidémiologique, la mesure de la quantité de plomb osseux pourrait se révéler particulièrement intéressante. On évaluerait alors l'imprégnation cumulative réelle<sup>b</sup>.

---

<sup>a</sup> Kim et 262 coll., 1997, in INSERM, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Hoppin et coll., 1995, 1996, 1997, in INSERM, Réf. Biblio. n°95



## Historique du site d'Octel à Paimboeuf<sup>a</sup>

### I ] Le "Composé Octel"

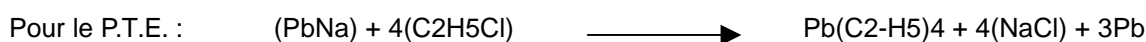
#### A ) Historique

La production des organo-plombés a débuté en France à Paimboeuf en 1938 par le plomb tétraéthyle (P.T.E.). Un atelier de plomb tétraméthyle (P.T.M.) a été construit dans un deuxième temps en 1963.

Le produit obtenu distribué sous le nom de "Composé OCTEL" était utilisé pour ses propriétés antidétonantes. Il était ajouté aux carburants pour augmenter l'indice d'octane. Cet indice rend compte du taux maximum de compression que peut supporter le mélange air-essence sans détoner spontanément avant l'allumage.

#### B ) Le plomb organique

Le plomb organique est obtenu en faisant réagir sur un alliage plomb-sodium du chlorure d'éthyle (pour le P.T.E.) ou de méthyle (pour le P.T.M.) selon la réaction chimique suivante:



PbNa : alliage plomb-sodium

C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>Cl : chlorure d'éthyle

CH<sub>3</sub>Cl : chlorure de méthyle

Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> : plomb tétraéthyle

Pb(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub> : plomb tétraméthyle

Cette réaction se déroule dans un autoclave. Les produits obtenus P.T.E. ou P.T.M. sont séparés par distillation.

Le plomb résiduel, c'est à dire les trois-quarts du plomb introduit pour faire la réaction, est récupéré pour être réutilisé.

Le P.T.E. et le P.T.M. ont des propriétés communes :

- Ce sont des liquides incolores de consistance huileuse, insolubles dans l'eau.
- Ils sont très volatils, surtout le P.T.M. et se décomposent à l'air avec formation entre autres d'oxydes de plomb. La chaleur et la lumière favorisent cette décomposition.

Lors du processus de fabrication le plomb métal arrivait dans un premier atelier sous forme de gros lingots où il était chauffé et fondu, puis mélangé à du sodium métal. L'alliage plomb-sodium était ensuite finement broyé et transformé en paillettes. Dans cet atelier le risque d'intoxication par les poussières de plomb était majeur.

Dans un deuxième atelier se fabriquait le P.T.E., puis après 1960 le P.T.M.. Dans cet atelier le risque d'intoxication aux vapeurs de plomb organique était grand et imposait le port de masque.

Les boues résiduelles de plomb étaient séchées, fondues dans des fours et stockées pour être réutilisées au niveau du premier atelier. Le risque d'exposition au plomb minéral était ici grand.

<sup>a</sup> Desfontaine S. 1998, Réf. Biblio. n°51.

Le produit fini était stocké dans des cuves en réserve sur le site. Il était régulièrement expédié par voie ferrée, par la route ou par voie fluviale.

## **II ] La surveillance environnementale**

Cinquante points de contrôles de teneur en plomb organique étaient répartis sur l'ensemble de l'usine. Le plomb était analysé par spectrométrie d'absorption atomique puis rapporté au volume d'air prélevé. Le résultat est exprimé en mg/m<sup>3</sup> d'air pour 40 heures.

La surveillance du taux de poussières de plomb minéral était réalisée à l'aide d'un appareil recueillant les particules dont le diamètre est supérieur à 4 microns; les particules plus fines étaient filtrées. L'analyse était faite en comptabilisant les grosses et les petites particules. La valeur moyenne d'exposition ne doit pas dépasser légalement 150 µg/m<sup>3</sup> d'air pour 40 heures (chez Octel, la valeur à ne pas dépasser était de 100 µg/m<sup>3</sup>)

Cinq capteurs étaient placés en dehors de l'usine, nous reviendrons sur l'historique de leurs mesures dans un prochain chapitre.

## **III ] Les problèmes médicaux<sup>a</sup>**

### **A ) La surveillance médicale**

Dès 1938 lors des débuts de la production du P.T.E., une surveillance médicale a été assurée. Un infirmier et un laborantin, embauchés à plein-temps, assistaient les médecins qui effectuaient des bilans réguliers toutes les trois semaines. Ce personnel assurait les premiers soins d'urgence et effectuait les analyses de sang et d'urines.

L'infirmier et le laboratoire d'analyse étaient implantés dans l'usine même. Ce laboratoire était chargé d'analyser le plomb dans les prélèvements biologiques et l'atmosphère.

Outre les visites d'embauche et les visites systématiques avec examens biologiques, une surveillance régulière des conditions de travail et des mesures de prévention était réalisée dans les ateliers. Les mesures individuelles de protection concernant l'hygiène avant, pendant et après le travail étaient rigoureuses (douche en arrivant et en partant). Il était interdit de manger, de boire, de fumer, de chiquer ou de priser dans les ateliers. La tenue vestimentaire fournie par l'employeur était changée et lavée à la lingerie de l'usine deux fois par semaine. Les vestiaires des tenues de ville et de travail étaient séparés par les douches.

Le rapport d'activité de 1992 recense l'évolution des plombémies moyennes annuelles retrouvées chez les ouvriers travaillant dans divers ateliers (Tableau N°2 et graphique N°1).

### **B ) Les risques médicaux**

Deux types d'intoxication pouvaient survenir dans l'usine Octel. Une intoxication aiguë ou sub-aiguë au plomb organique et une intoxication chronique au plomb minéral (le saturnisme).

Lors d'une intoxication au plomb organique la pénétration dans l'organisme peut se faire par voie respiratoire ou par voie cutanée sur peau saine ou malade (substance très lipophile ).

La grande affinité du plomb organique pour les graisses explique la prédominance des lésions au niveau du système nerveux mais également au niveau hépatique et rénal. Ce plomb organique est métabolisé au niveau du foie pour être ensuite éliminé.

Le plomb organique étant très rapidement dégradé dans l'environnement pour ne laisser perdurer que du plomb minéral, cette intoxication n'a pu et ne peut plus intéresser la population de Paimboeuf. Nous n'y ferons donc plus référence.

Sur les soixante années de production, les cas d'intoxication aux vapeurs de plomb organique et d'intoxication saturnine ont été peu nombreux.

Moins d'une dizaine de cas d'intoxication au plomb organique ont été relevés depuis 1943, pour un effectif de salariés qui a varié, suivant les années, de deux cents à six cents.

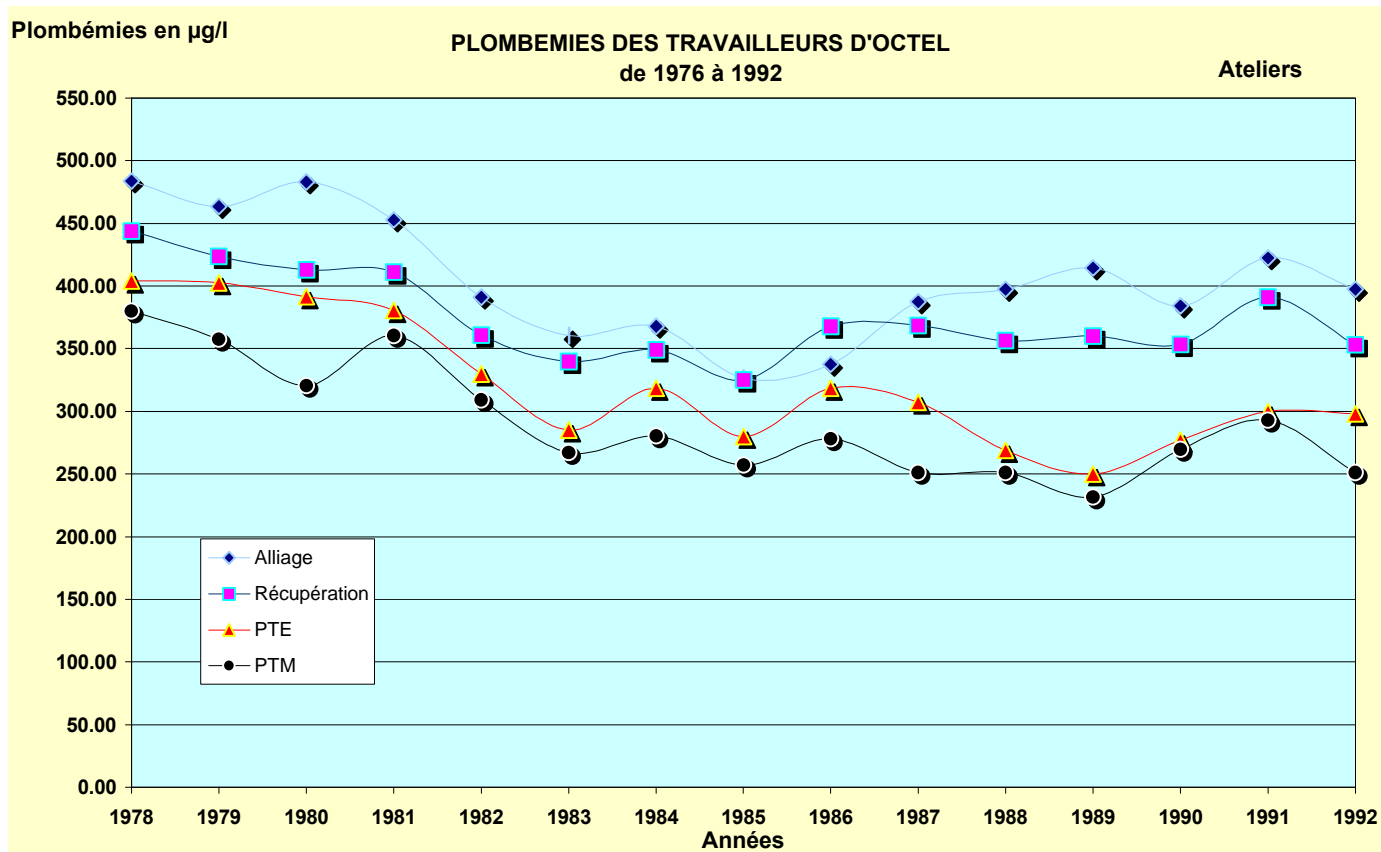
<sup>a</sup> Desfontaine S. 1998, Réf. Biblio. n°51.

De 1976 à 1993 quelques cas de plomburies légèrement trop élevées sont à noter, et ont nécessité une extraction temporaire du poste de travail.

Tableau N° 2 Plombémies des travailleurs d'octel de 1976 à 1992.

PLOMBEMIES DES TRAVAILLEURS D'OCTEL de 1976 à 1992					
Plombémies en µg/l ; Normes Médecine du Travail 1988 < 400 µg/l					
ANNEES	ATELIERS				
	Alliage	Récupération	PTE	USINE	PTM
1978	484,00	444,00	404,00	381,00	380,00
1979	463,50	423,50	402,50	360,50	357,50
1980	483,00	413,00	391,50	339,00	320,50
1981	453,00	411,00	380,50	349,00	360,50
1982	391,00	361,00	330,00	286,50	309,00
1983	360,50	340,00	285,00	286,00	267,00
1984	368,00	349,00	318,50	286,50	280,50
1985	326,50	325,00	280,00	275,00	257,00
1986	337,50	368,00	318,50	284,50	278,00
1987	387,50	368,50	307,50	264,50	251,00
1988	397,50	356,50	269,00	251,00	251,00
1989	414,50	360,00	250,00	248,00	231,50
1990	384,00	353,50	277,00	259,00	269,50
1991	422,50	391,00	300,00	285,00	293,00
1992	397,50	353,00	298,00	254,00	251,00

Graphique N° 1 Plombémies des travailleurs d'octel de 1976 à 1992.



## **IV ] Evolution des risques**

### **A ) Grâce aux mesures antipollution**

En février 1973 apparaissent les premières mesures préfectorales établies dans le cadre de la diminution de la pollution atmosphérique visant à supprimer les produits à haute teneur en plomb. En 1981, la législation française fixe une diminution du taux de 0,5 à 0,4 g/l. En juin 1991 le taux de plomb dans l'essence passe à 0,15 g/l.

Depuis le 01 janvier 1993, les constructeurs automobiles ont été obligés d'équiper les véhicules neufs de pots catalytiques filtrant le monoxyde de carbone, l'oxyde d'azote, et les hydrocarbures résiduels non brûlés. Or l'utilisation de carburant contenant du plomb est incompatible avec un pot catalytique. L'essence sans plomb est donc en vente en France depuis 1989.

En conséquence la production du composé OCTEL baisse de 37 000 tonnes en 1979 à 29 000 tonnes en 1982. Pendant quelques années OCTEL réussit encore à maintenir sa production. Mais l'atelier P.T.M. est fermé et démolit en 1993 puis en décembre 1996 c'est la fabrication du P.T.E. qui s'arrête.

### **B ) Par diminution des effectifs**

Contrecoup de la diminution de la production, pendant dix-sept ans l'effectif n'a cessé de baisser, de façon même considérable, passant de six cents à deux cents salariés. En avril 1993 les salariés d'OCTEL sont au nombre de 140. Depuis décembre 1996 ces employés ont été chargés de la démolition de l'usine.

## **V ] Le plomb et les maladies professionnelles<sup>a</sup>**

La pathologie liée au plomb et à ses dérivés fut la première maladie professionnelle reconnue. Très tôt, il s'est avéré qu'une prévention efficace devait être appliquée afin de réduire les risques d'intoxication.

La reconnaissance du saturnisme professionnel débuta avec la loi du 25 octobre 1919 et la création du premier tableau des maladies professionnelles.

L'intoxication professionnelle au plomb organique ne fut reconnue que beaucoup plus tard, par le décret du 9 octobre 1951.

Les mesures fixées par le décret n°48-1091 du 11/12/1948 fixant les modalités de surveillance des salariés exposés, considérées comme insuffisantes, ont été remplacées par le décret n°88-120 du 01/02/1988 relatif à la protection des travailleurs exposés au plomb métallique et à ses composés.

Les derniers textes réglementaires datent de 1988 avec l'arrêté du 15/09/1988. Les valeurs maxima de plombémie à ne pas dépasser sont alors de 400 µg/l.

## **VI ] Historique des émissions et rejets dans l'environnement**

### **A ) Comparaison par rapport aux autres installations françaises**

Le tableau N°3 donne pour cinq années, la liste des 40 installations industrielles françaises émettant du plomb dans l'atmosphère<sup>b</sup>.

Nous pouvons remarquer que l'usine Octel de Paimboeuf se situe en 1996 à la cinquième place. Si l'on exclut les usines d'incinération d'ordures, elle est en deuxième position juste après l'usine de Metaleurop Nord à Noyelles-Godault.

<sup>a</sup> Desfontaine S. 1998, Réf. Biblio. n°51.

<sup>b</sup> INSERM Expertise Collective, 1999, Réf. Biblio. n°95.

Notons toutefois que ses flux moyens pour l'année sont passés de 70,30 Kg/j en 1986 à 12,10 Kg/j en 1996, **soit 500 g/h** (rejets identiques aux flux de l'usine TPC de Seurre). Pour l'année 1995 la Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) nous fournit un chiffre de 19,8 Kg/j<sup>a</sup>.

---

<sup>a</sup> DRIRE Pays de la Loire, 1998, Réf. Biblio. n°60.

Tableau N° 3 Liste des installations émettant plus de 2Kg de plomb par jour.

**Liste des 18 Installations Industrielles françaises émettant plus de 2Kg de plomb par jour dans l'atmosphère, en 1996.**

Dépt	Établissement	Commune	Flux moyen pour l'année (kg/j)				
			1986	1988	1990	1993	1996
62	METALEUROP NORD	Noyelles-Godault	140,00	174,00	138,00	88,49	67,40
94	U.I.O.M.	Seine	48,00		35,00	12,38	18,89
60	U.I.O.M.	Nogent sur Oise					17,74
70	U.I.O.M.	Vesoul					13,28
44	OCTEL France	Paimbœuf	70,30			31,60	12,10
56	DIR. DES CONS. NAV.	Lorient					8,40
76	ECO HUILES	Lillebonne	15,00				7,44
59	U.I.O.M.	Sequedin	14,40				6,86
76	U.I.O.M.	Rouen	9,60			13,80	6,85
93	U.I.O.M.	Saint-Ouen	28,80		8,70	9,17	5,50
72	U.I.O.M.	Mans (le.)	9,60				4,31
33	VSN	Vayres		3,00	1,80	3,09	3,90
49	U.I.O.M.	Angers					3,00
76	U.I.O.M.	Havre (le.)	7,70			4,70	2,90
59	U.I.O.M.	Wasquehal	14,40				2,68
03	U.I.O.M.	Bayet					2,50
92	U.I.O.M.	Issy les Moulineaux	32,60		20,70	4,54	2,39
69	U.I.O.M.	Lyon	19,20		4,70	5,00	2,20

## B ) Résultats des mesures de l'auto-surveillance

### 1°) Présentation :

Dans le cadre de l'auto-surveillance obligatoire l'usine a régulièrement analysé l'air au niveau de quatre capteurs, partiellement au niveau d'un cinquième [Tableau N°4]. Deux sont situés à l'Est de la cheminée le N°7 (à environ 750 m) et le N°8 (à environ 1150 m). Trois autres sont positionnés à l'Ouest le N°1 (à environ 350 m), le N°2 (à environ 975 m) et le N°3 (à environ 2200 m) [Carte N°3 : "Localisation des capteurs OCTEL"].

L'historique couvre environ dix années avec quelques manques en 1992 et 1993.

### 2°) Analyse (tableau N°4 et graphique N°2) :

A l'analyse, excepté durant l'année 1989, le seuil maximum de 2 µg/m<sup>3</sup> d'air (Directive Européenne du 3/12/1982) n'a jamais été dépassé. En 1989 sur le capteur Ouest N°1 le taux de plomb a atteint une moyenne de 2,57 µg/m<sup>3</sup> d'air.

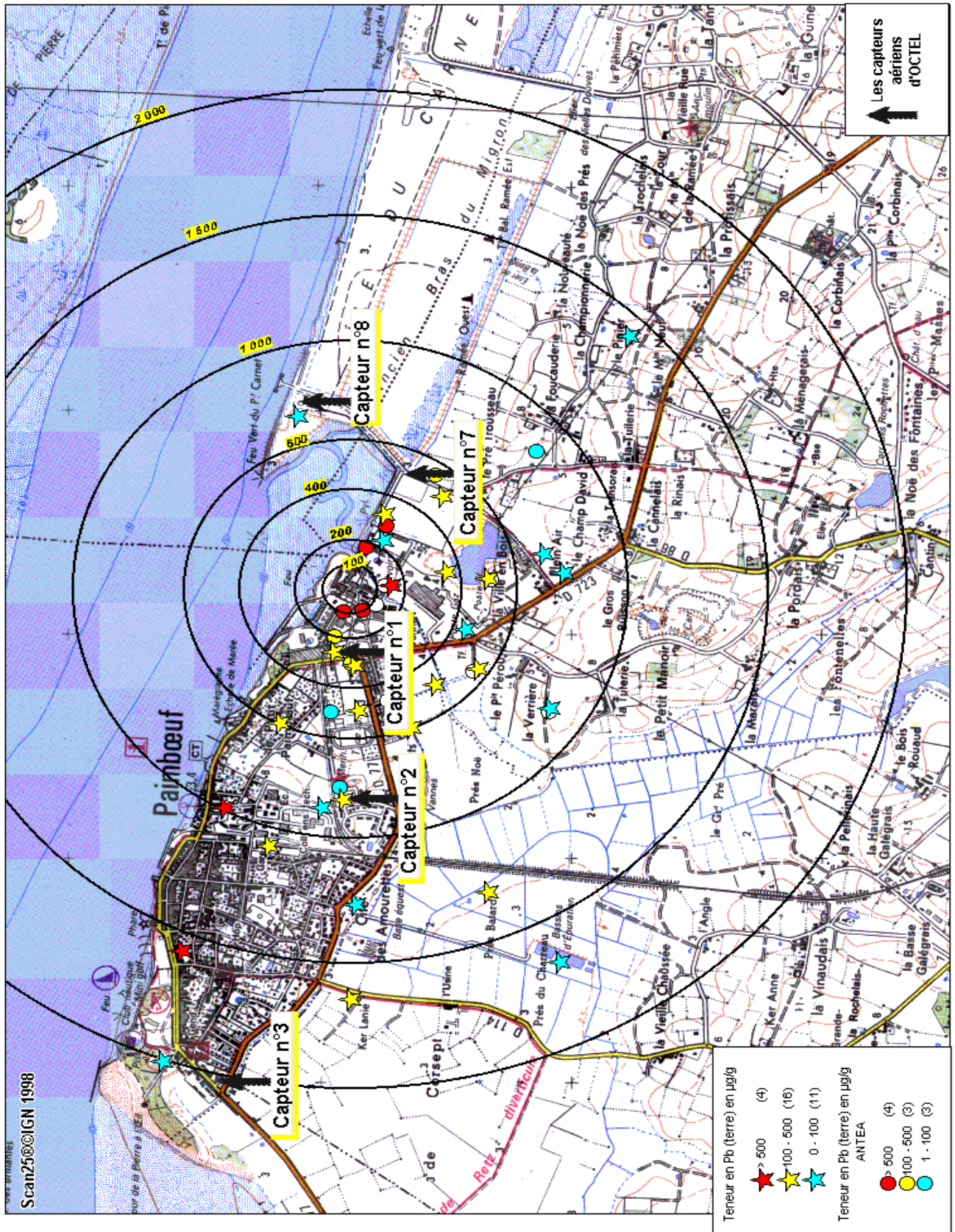
Carte N° 3 Localisation des capteurs OCTEL.

Localisation des capteurs OCTEL

Carte N°3

Localisation des capteurs OCTEL

Carte N°3





Notons bien que ces chiffres ne représentent que des moyennes. En 1995, année pour laquelle nous avons les chiffres dans le détail, le capteur Ouest N°1 a révélé un maximum de  $2,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le capteur Est N°7 un maximum de  $2,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et le capteur Est N°8 un maximum de  $3,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sauf en janvier pour le capteur Est N°7 qui nous donne un chiffre de  $2,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , les moyennes mensuelles<sup>a</sup> sont toutefois toujours inférieures à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tableau N° 4 Mesures de la concentration du plomb dans l'atmosphère à Paimboeuf.**

<b>Mesures de la concentration du plomb dans l'atmosphère à Paimboeuf (en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>					
<b>ANNEES</b>	<b>Est N°8 (1150 m)</b>	<b>Est N7 (750 m)</b>	<b>Ouest N°1 (350 m)</b>	<b>Ouest N°2 (975 m)</b>	<b>Ouest N°3 (2200 m)</b>
<b>1986</b>	1,43	0,90	1,25	0,26	0,26
<b>1987</b>	0,94	0,75	2,00	0,59	0,19
<b>1988</b>	1,03	0,96	1,52	0,51	0,08
<b>1989</b>	0,86	0,58	2,57	0,72	
<b>1991</b>	0,79	0,67	1,33	0,54	0,05
<b>1993</b>	0,17	0,19	0,38	0,17	
<b>1995</b>	0,39	0,45	0,45	0,18	

Comme le laisse présager la fréquence des vents<sup>b</sup>, les valeurs mesurées à l'Est sont quasiment toujours plus importantes que les valeurs retrouvées à l'Ouest [Tableau N°4]. Fait exception l'année 1989, mais il nous manque pour cette année la valeur Ouest du capteur N°3.

Remarquons également, à l'Est, sauf en 1993 et 1995, la pollution est plus importante sur le capteur N°8 (à environ 1150 m) comparé au capteur N°7 (à environ 750 m). Une explication possible serait la localisation azimutale des capteurs par rapport à la cheminée et aux vents d'Ouest/Sud-Ouest; elle favoriserait les flux sur le capteur N°8 en fonction d'un léger décalage angulaire.

Globalement en dix ans la pollution sur les capteurs EST est en diminution. Sur le point N°7 elle passe de  $0,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Au niveau du capteur N°8 elle décroît de  $1,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $0,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

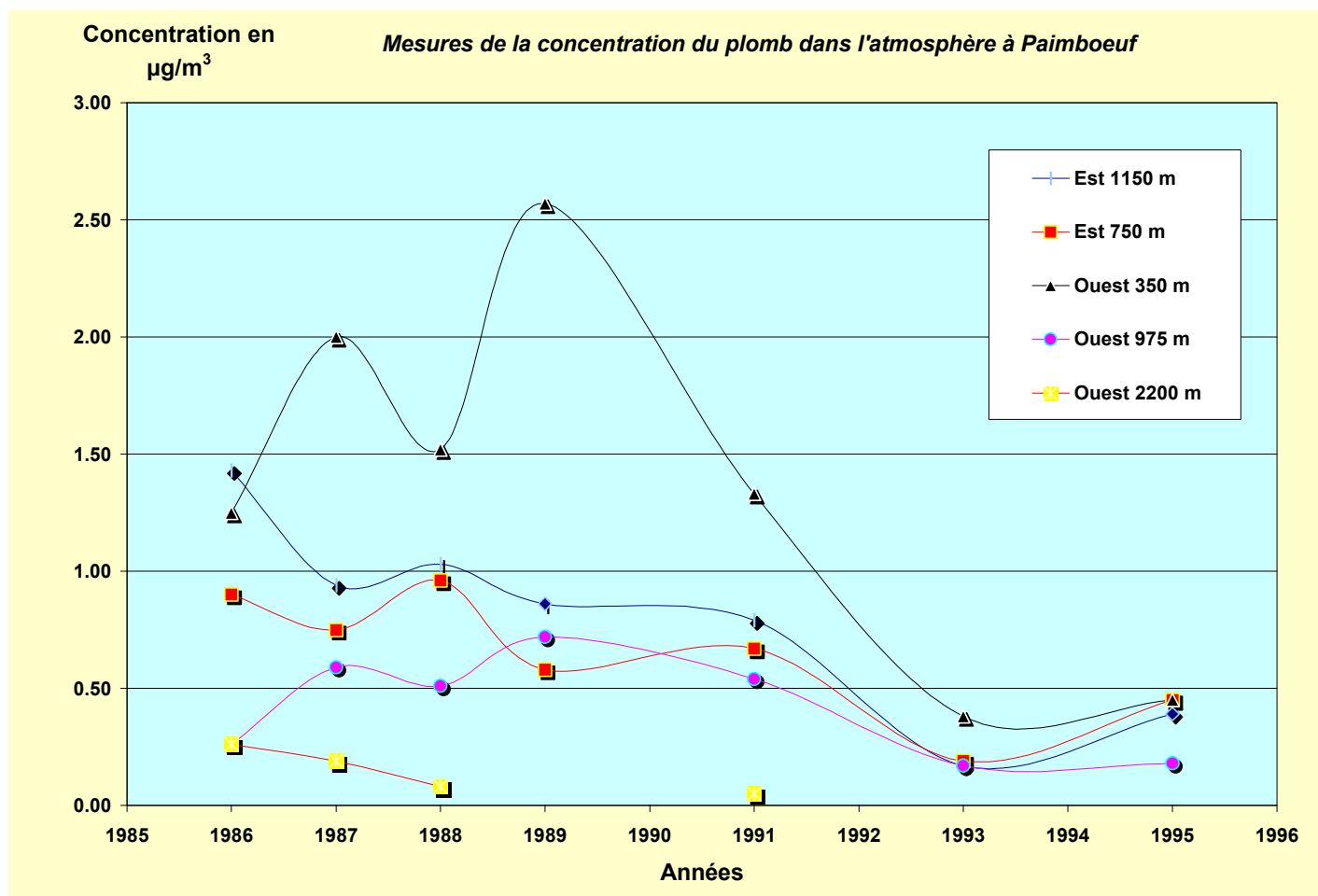
Il en est de même à l'OUEST. Sur le capteur N°1 on passe de  $1,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et sur le N°2 de  $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $0,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Graphique N°2)

Un exemple de relevé de l'auto-surveillance atmosphérique est présenté à l'annexe B.

<sup>a</sup> Annexe B.

<sup>b</sup> Un prochain chapitre étudiera en détail l'influence des vents.

Graphique N° 2 Mesures de la concentration du plomb dans l'atmosphère à Paimboeuf.



## VII ] En conclusion

Pendant soixante ans d'exploitation, sur ce site classé SEVESO, moins d'une dizaine de cas d'intoxications graves ont été déplorés.

En collaboration avec les services d'urgence et les pompiers un plan d'opération interne (P.O.I.) et un plan particulier d'intervention (P.P.I.) visant à protéger le personnel, la population de PAIMBOEUF et l'environnement en cas d'accident avaient été établis et réévalués chaque année<sup>a</sup>.

Depuis décembre 1996, la production de plomb organique a été arrêtée chez OCTEL.

Le démontage des structures et la démolition des bâtiments sont en cours. Lors de ces opérations des analyses préalables d'échantillons de matériaux permettent d'apprécier leur degré de pollution.

Début 2000, seules cinq personnes travaillent encore pour Octel.

<sup>a</sup> Desfontaine S. 1998, Réf. Biblio. n°51.

## Analyse démographique et socio-historique

### I ] Détermination de la population potentiellement exposée<sup>a</sup>

#### A ) Analyse démographique globale

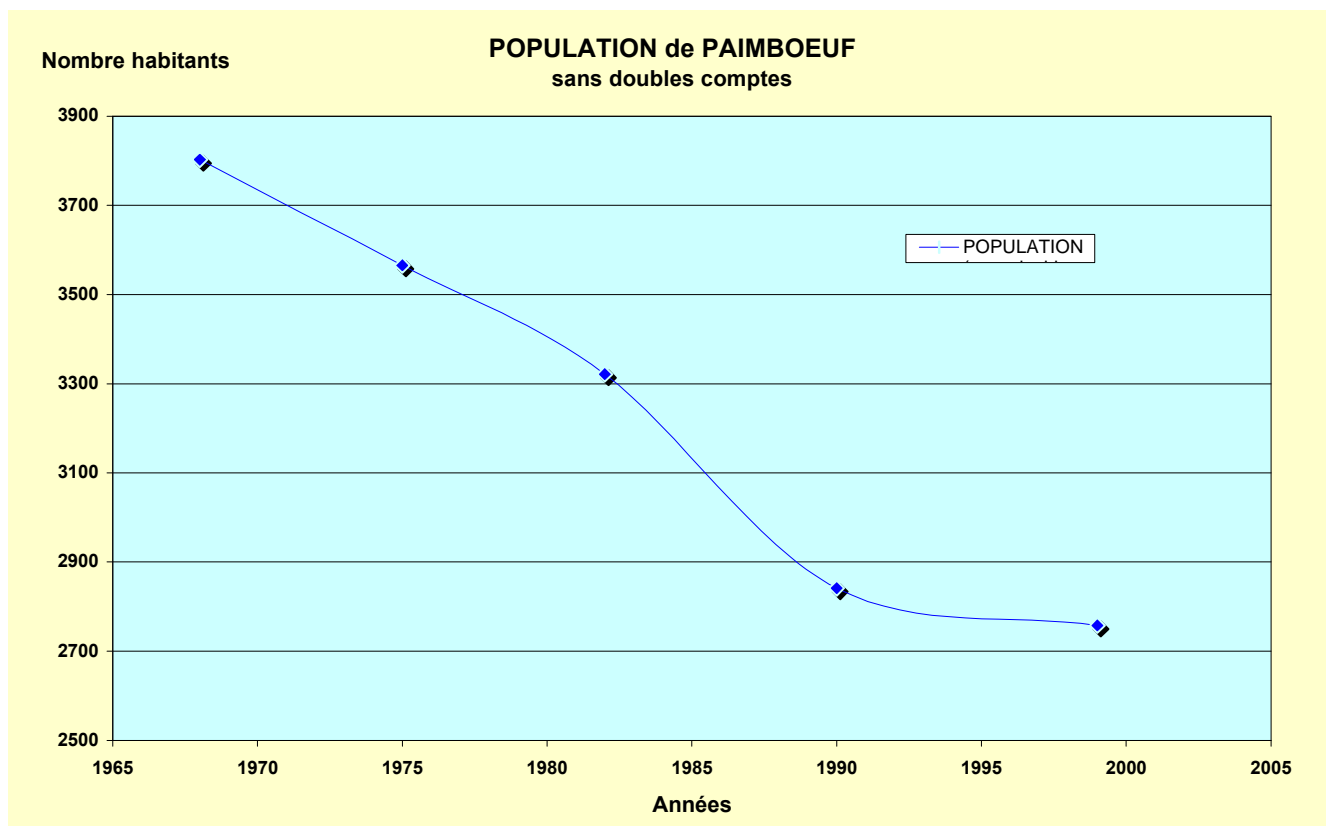
La population potentiellement exposée est constituée par la population de la commune de Paimboeuf entièrement située dans un rayon de 2000 m à l'Ouest de l'usine, et surtout sa partie sud dans le cône des vents d'Est/Nord-Est. (Carte N°4).

Au recensement de mars 1999 cette population s'élève à 2758 h résidant dans 1244 logements. Sa population décroît régulièrement depuis 1968 où elle comptait 3802 h (tableau N°5 et graphique N°3).

**Tableau N° 5 Population de Paimboeuf.**

ANNEE	POPULATION (sans doubles comptes)
1968	3802
1975	3565
1982	3321
1990	2842
1999	2758

**Graphique N° 3 Population de Paimboeuf.**



<sup>a</sup> Recensement INSEE 1990 et 1999.

La population était alors de 1488 femmes pour 1359 hommes (tableau N°6 et histogramme N°1).

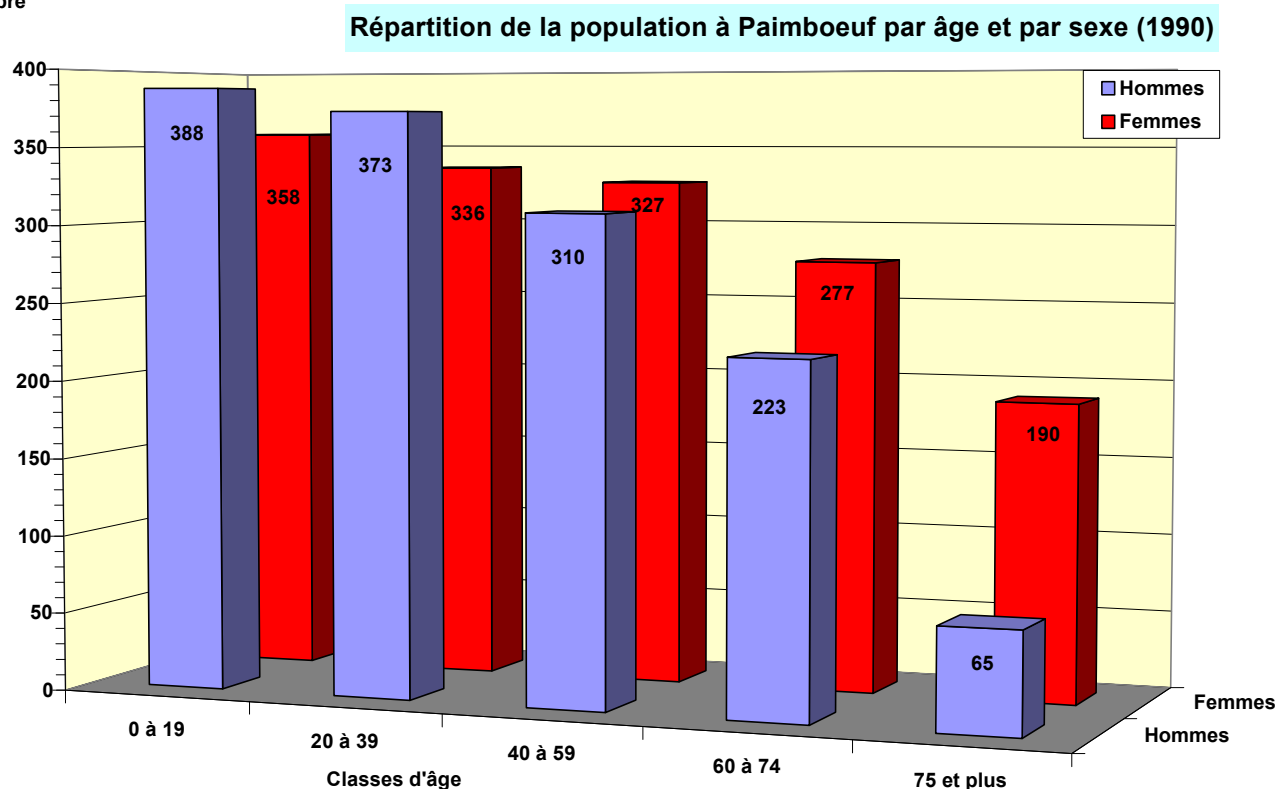
Parmi les personnes susceptibles de souffrir particulièrement de la pollution par le plomb il faut comptabiliser les femmes enceintes. De 1990 à 1999 il y a eu 261 naissances à Paimboeuf, soit environ **26 femmes enceintes** par an.

**Tableau N° 6 Population par classes d'âge et par sexe (année 1990).**

Classes d'âge	Hommes	Femmes
0 à 19	388	358
20 à 39	373	336
40 à 59	310	327
60 à 74	223	277
75 et plus	65	190
<b>Total</b>	<b>1359</b>	<b>1488</b>

**Histogramme N° 1 Population par classes d'âge et par sexe (année 1990).**

Nombre



Le taux de natalité est également en baisse; de 18,1/1000 h durant les années 1968/1975, il est de 10,3/1000 h pour les années 1990/1999.

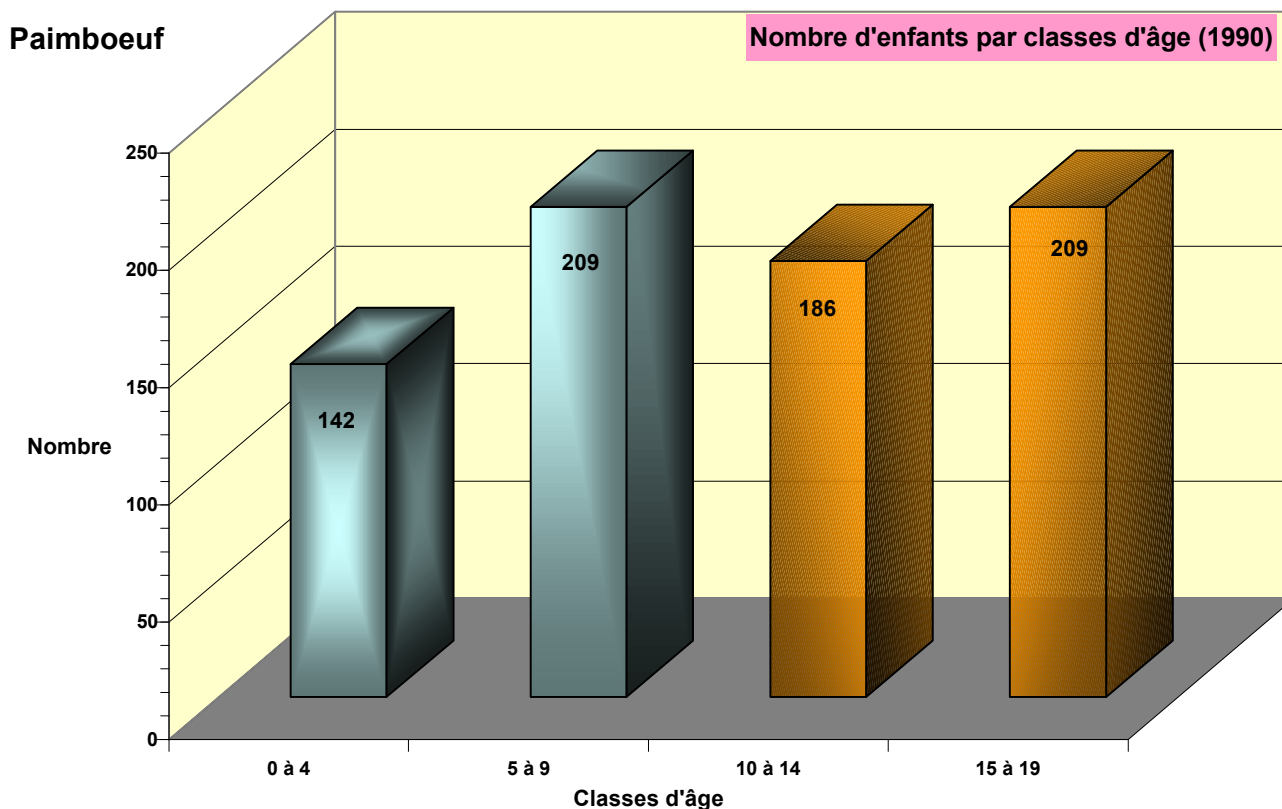
Le taux de mortalité est lui en hausse régulière, passant de 11/1000 h en 1968/1975 à 16,6/1000 h en 1990/1999.

En 1990 pour une population totale de 2847 h (seuls ces chiffres sont actuellement disponibles) on avait 142 enfants de 4 ans et moins, 209 enfants entre 5 et 9 ans inclus. Il y avait 186 pré-adolescents de 10 à 14 ans inclus, et 209 adolescents de 15 à 19 ans (tableau N°7 et histogramme N°2).

**Tableau N° 7 Population par classes d'âge de 0 à 19 ans (année 1990).**

Classes d'age	Population (1990)	Sommes
0 à 4	142	351
5 à 9	209	
10 à 14	186	395
15 à 19	209	

Nous avons donc un total de **351** enfants en dessous de 10 ans. Mais nous ne possédons pas les chiffres spécifiques de la tranche d'âge de 1 à 6 ans qui est la fraction de population susceptible d'être la plus exposée au risque de saturnisme.

**Histogramme N° 2 Population par classes d'âge de 0 à 19 ans (année 1990).**

## B ) Analyse de la structure topographique des installations sensibles de la ville de Paimboeuf

Assez près de l'usine, dans un périmètre de 500 m à 600 m par rapport à la cheminée, se trouve un stade. Un peu plus loin, dans un rayon de 800 à 1200 mètres sont situés plusieurs établissements scolaires (les chiffres indiqués sont ceux de janvier 2000) :

- Une école maternelle publique de 78 enfants.
- Une école privée accueillant 35 élèves en maternelle et 58 en primaire.
- Un collège public avec 314 pré-adolescents.
- Un lycée d'enseignement professionnel avec 185 externes et 60 internes.
- Une cantine scolaire.
- Un complexe sportif.

Dans ce rayon on a donc un total de **171** enfants en maternelle ou en primaire, et de **559** au collège ou au lycée.

Ces enfants sont particulièrement exposés car leurs établissements sont situés dans le cône de projection de la pollution engendrée par les vents d'Est/Nord-Est.

Dans un rayon de 1500 m se trouve l'hôpital local.

Puis à 1600 m se situe une autre école primaire publique de **150 élèves**.

En conclusion nous avons à Paimboeuf **171 enfants** d'un âge inférieur à 10 ans particulièrement exposés car scolarisés dans un rayon de 1000 m par rapport à l'usine et 150 moins exposés car leur école est à 1600 m d'Octel. Soit au total 321 enfants, ce qui doit correspondre à la population de cette classe d'âge en 1999.

## **II ] Expérience et avis des professionnels locaux et de la population**

Une enquête sur le terrain parmi les professionnels de la santé, en activité ou retraités, ainsi qu'auprès des laboratoires d'analyse médicale nous permet de dresser le portrait suivant des éventuelles intoxications saturnines à Paimboeuf.

### **A ) Les médecins en activité**

Les quatre médecins en activité dans la ville ont été interviewés. Aucun n'a souvenance d'avoir eu parmi sa clientèle de patient présentant des anomalies de la plombémie. Quelques plombémies auraient été demandées il y a très longtemps pour des travailleurs de chez Octel, mais les résultats auraient été normaux.

Globalement tous ces praticiens avaient eu lors de leur installation à Paimboeuf une phase d'intérêt particulier pour les risques potentiels dus à la fabrication du "composé Octel", mais devant l'absence de conséquences immédiatement décelables, leurs inquiétudes s'étaient émoussées.

Un médecin du village de Corsept, qui jouxte Paimboeuf à l'Ouest, se souvient de légères anomalies des chiffres de la plombémie chez certains de ses patients; l'origine en avait été clairement attribuée à l'utilisation de minium de plomb.

Parmi ces praticiens un seul a émis des inquiétudes réelles sur le devenir de la friche industrielle d'Octel. Un risque d'intoxication ne pourrait-il pas advenir dans le futur si d'autres activités s'installaient sur des terrains non décontaminés.

### **B ) L'hôpital local**

L'hôpital local n'a plus actuellement de praticien hospitalier (PH), mais l'ancien PH, à la retraite depuis peu, réside toujours à Paimboeuf.

L'analyse de son expérience au sein de l'hôpital local est intéressante car elle confirme l'existence de problèmes d'intoxication aiguë au plomb organique, chez des ouvriers d'Octel.

Mais cette expérience n'apporte que peu d'informations sur des anomalies de la plombémie qui auraient pu être diagnostiquées parmi la population de Paimboeuf ne travaillant pas chez Octel, à l'exception de cas, très anciens, concernant des intoxications au minium.

### **C ) Le Docteur Henri GREAUD**

Cet ancien médecin du travail de l'usine Octel, qui a plus de 25 ans d'expérience de prise en charge des travailleurs de l'usine (médecin du travail de 1950 à 1976), réside lui aussi à Paimboeuf.

Très au fait de la surveillance du saturnisme il a bien entendu rencontré dans sa carrière des intoxications chroniques au plomb. Mais, fait-il remarquer, quelle que soit l'époque, la plus grande part des plombémies excessives rencontrées chez des ouvriers d'Octel, en dehors de toute intoxication aiguë, avait toujours une origine extra professionnelle.

### 1°) Le problème de l'eau de boisson :

Il cite tout d'abord l'eau de boisson, car pendant longtemps le saturnisme dans la région a été d'origine hydrique. Il frappait alors surtout les populations rurales. Dans beaucoup de villages, l'eau destinée à la boisson et à la cuisine provenait d'un puits propre à chaque habitation, et était acheminée dans des canalisations en plomb.

Or dans les terrains granitiques, cette eau très pure est très acide et peu minéralisée d'où l'absence de formation, à l'intérieur de la conduite, de revêtement protecteur à base de carbonate. Cette eau étant très agressive pour les conduites en plomb, un certain nombre de cas de saturnisme furent observés dans des localités vendéennes et bretonnes. En 1963, le Docteur R. Vernhes<sup>a</sup>, dans une thèse inspirée par le Docteur Henri Gréaud, rapportait sept cas d'encéphalopathie saturnine d'origine hydrique.

A la suite du développement et de l'extension des services intercommunaux ou communaux de distribution d'eau, ce saturnisme a beaucoup régressé. De nos jours les eaux fournies par le réseau de distribution publique sont minéralisées et peu agressives. Par ailleurs à Paimboeuf la tuyauterie est maintenant en fer galvanisé, cuivre ou matière plastique.

### 2°) Le problème du vin :

Le Docteur Gréaud cite comme exemple la consommation de certains vins. De même dans la thèse du Docteur R. Vernhes, citée plus haut, sur l'encéphalopathie saturnine, on relève six cas provoqués par le vin.

Dans sa thèse, "Le saturnisme dû au vin"<sup>b</sup> (Paris, 1967), le Docteur J.P. Luard, rapporte vingt cas d'intoxication de personnes habitant la région de Basse-Bretagne / Vendée dont l'état a nécessité l'hospitalisation (thèse inspirée par le Docteur H. Gréaud).

Les teneurs en plomb rencontrées dans le vin étaient parfois énormes (jusqu'à 20 mg/l) et le plus souvent en rapport avec le badigeonnage au minium de plomb, du pressoir et des cuves de vendange. Ceci en faisait un saturnisme essentiellement rural. Parfois le vin était lui aussi conservé dans des pots en fer badigeonnés au minium de plomb ou dans des pots vernis au plomb<sup>c</sup>.

De nombreux cas de saturnisme dus au vin furent ainsi observés en 1963 et 1964. Mais, à la suite de la mise en garde des populations de Vendée et de Loire-Atlantique par les services d'hygiène contre l'utilisation intempestive du minium de plomb, cette cause de saturnisme alimentaire a pratiquement disparu.

### 3°) Autres cas de saturnisme alimentaire :

Des cas de saturnisme en rapport avec l'alimentation et ayant une étiologie exceptionnelle ont été également observés à Paimboeuf. Ce sont ceux dus à une citronnade stockée dans un pot verni au plomb<sup>d</sup> ainsi que ceux dus à de l'eau destinée à l'alimentation et stockée dans un réservoir peint intérieurement au minium de plomb (Docteur Gréaud).

### 4°) Autre source de plomb :

Une autre série de plombémies excessives, quasi épidémiques a eu lieu dans les années soixante. Elle était due à une mode qui avait flambé à Corsept, le village voisin : l'utilisation de peinture de minium sur le matériel agricole puis bizarrement sur toute partie métallique même alimentaire. Les peintures de l'habitat ancien n'ont a priori posé que peu de problèmes (Docteur Gréaud).

<sup>a</sup> Docteur R. Vernhes, 1963, in GRUGET P. Réf. Biblio. n°80.

<sup>b</sup> Docteur J.P. Luard, 1967, in GRUGET P. Réf. Biblio. n°80.

<sup>c</sup> Gruget P, 1977, Réf. Biblio. n°80.

<sup>d</sup> Professeur Horeau, in GRUGET P. Réf. Biblio. n°80.



Pour palier à tous ces risques d'origine extra professionnelle le Docteur Gréaud avait pris le parti de dépister chez les employés tout changement de comportement qui aurait pu être à l'origine d'une intoxication au plomb. Il avait, à cette fin, pris pour règle lors de l'embauche de noter par le détail les habitudes alimentaires et comportementales des ouvriers. Chaque embauche était également précédée d'une analyse biologique complète et d'une analyse chimique sur des échantillons des eaux de table, et toutes autres boissons (surtout le vin).

Notons que ce médecin a aussi participé comme conseiller technique à l'étude réalisée par deux chirurgiens dentistes de Paimboeuf. Cette étude, sur laquelle nous reviendrons, a analysé, en 1977, la teneur en plomb des dents des résidents de la commune de Paimboeuf<sup>a</sup>.

## D ) Les pharmacies

Les entretiens réalisés auprès des deux pharmacies de la bourgade ont confirmé l'absence d'inquiétude de la population par rapport aux risques potentiels passés mais surtout actuels liés à la présence de l'usine. Avec la fermeture d'Octel les inquiétudes sont plus d'ordre économique que de santé publique.

Ces contacts nous ont permis de mettre à jour les circuits des prélèvements biologiques, ainsi que les laboratoires d'analyse médicale impliqués, afin de retrouver la trace d'éventuelles plombémies dont les prescripteurs auraient perdu souvenance.

La ville de Paimboeuf étant dépourvue de laboratoire d'analyse médicale, les deux pharmacies recueillent tous les prélèvements sanguins et les transmettent ensuite à deux laboratoires différents. L'un est situé à Pornic, l'autre à Saint-Brevin, deux petites villes des environs. Il est toutefois à noter que l'une des deux pharmacies a récemment changé de laboratoire; elle travaillait auparavant avec un laboratoire de la banlieue de Nantes à Rézé.

## E ) Les laboratoires d'analyse médicale

L'enquête s'est donc poursuivie dans ces trois laboratoires. Le centre de biologie médicale de Saint-Brevin fait réaliser ses examens de plombémie au laboratoire Marcel Mérieux à Lyon. Celui-ci n'a dans ses archives aucune trace de plombémie effectuée pour des habitants de Paimboeuf. Par contre deux plombémies ont été réalisées pour des individus adultes originaires de Corse. Le premier résultat de 102 µg/l est quasi normal pour un adulte. Le deuxième est inférieur à 50 µg/l.

Le deuxième laboratoire, "Le laboratoire SERT (Société Etude des Risques Toxiques)" spécialisé dans les dosages de ce type est tenu par le Professeur Boiteau du CHU de Nantes. Après un entretien avec Monsieur Boiteau il s'est avéré qu'il lui était impossible de retrouver l'adresse des personnes pour lesquelles il aurait pu effectuer des plombémies. Toutefois, il n'a aucun souvenir concernant des plombémies anormales, réalisées en dehors de la médecine du travail.

Le troisième laboratoire, celui de Rézé, n'avait lui aussi aucune trace de plombémie anormale attribuée à des ressortissants de Paimboeuf.

## F ) La population de Paimboeuf

Afin d'éviter toute exacerbation d'une possible inquiétude à propos d'une intoxication au plomb, nous avons limité notre enquête au recueil (entretiens non directifs) du sentiment des propriétaires, par le technicien chargé des prélèvements d'eau et de légumes dans les jardins particuliers.

La sensibilité au problème de la pollution par le plomb a été appréciée sur les 21 sites étudiés. Sur l'ensemble des personnes rencontrées, une seule, fille d'un des propriétaires, qui était là de passage, a évoqué spontanément le problème du saturnisme et la réalisation éventuelle d'une plombémie.

---

<sup>a</sup> Gruget P, 1977, Réf. Biblio. n°80.

## Etudes effectuées à Paimboeuf de 1976 à 1997

### I ] *La thèse du Docteur Paul Gruget<sup>a</sup>*

Cette thèse pour le diplôme d'état de Docteur en chirurgie dentaire a été soutenue en 1977. Son titre était "A propos de manifestations buccales du saturnisme, de la teneur en plomb des dents comme élément de diagnostic de l'exposition antérieure au plomb".

#### A ) Le contexte

Etant donné l'observation relativement fréquente dans le passé de cas d'intoxication saturnine d'origine alimentaire chez des personnes de Paimboeuf et la présence dans la ville de l'usine Octel, le Docteur Gruget a estimé être dans de bonnes conditions pour entreprendre une étude sur les manifestations buccales du saturnisme et sur la teneur en plomb des dents des résidents de Paimboeuf. En effet le Dr Gruget et son épouse, également chirurgien dentiste, exerçaient tous deux à Paimboeuf.

#### B ) La thèse

L'auteur nous rappelle tout d'abord les signes cliniques dus à l'élimination du plomb au niveau de la muqueuse buccale. Ces signes peuvent se présenter sous la forme d'une pigmentation spéciale désignée, lorsqu'elle siège sur les gencives, sous le nom de "liseré de Burton", et lorsqu'elle se situe au niveau de la muqueuse elle-même, sous l'appellation de "taches de Gubler".

Des études, des travaux et des enquêtes que l'auteur analyse ensuite, nous pouvons tirer les conclusions suivantes.

La teneur en plomb trouvée dans les dents d'un individu est en rapport étroit avec son exposition présente et antérieure au plomb.

Une teneur en plomb élevée peut être significative d'une exposition antérieure méconnue, ayant eu lieu des années auparavant. C'est un bon moyen d'appréciation de l'exposition au plomb d'un individu, depuis l'époque de la formation de la dent, jusqu'à sa chute ou son extraction.

La détermination du plomb peut être effectuée sur toute la dent ou sur un de ses constituants, la dentine péri-pulpaire étant l'élément qui renferme le plus de plomb.

Aux U.S.A., sur des populations d'enfants, elle a permis de distinguer nettement les groupes à exposition élevée, faible ou intermédiaire.

Dans les dents de lait, la moyenne des teneurs en plomb des enfants non exposés est aux USA d'environ **11,1 µg/g ± 1.48**. Celle d'enfants atteints de saturnisme de **110 µg/g ± 6.2**, soit dix fois plus<sup>b</sup>.

Dans une population d'enfants courant un risque sérieux d'exposition au plomb, Shapiro<sup>c</sup> trouva une teneur moyenne dans les dents de lait de **51,5 µg/g**.

Notons que l'expertise collective de l'INSERM<sup>d</sup> nous donne des chiffres variant de **2 à 9,2 µg/g** pour les enfants de moins de 6 ans non exposés et de **8 à plus de 24 µg/g** pour les enfants exposés.

Pour la dentition définitive, chez des adultes dans la population générale à Philadelphie, les chiffres sont de **188,3 µg/g ± 37.9**

<sup>a</sup> Gruget P, 1977, Réf. Biblio. n°80.

<sup>b</sup> Needleman HL, 1994, Réf. Biblio. n°130.

<sup>c</sup> Shapiro, in GRUGET P, Réf. Biblio. n°80.

<sup>d</sup> INSERM Expertise Collective, 1999,, Réf. Biblio. n°95.

## C ) Les résultats à Paimboeuf

### 1°) Résultats globaux [Tableau N°8] :

Un lot de 221 dents, en provenance du cabinet dentaire du Docteur Gruget et de son épouse, fut soumis à analyse.

Ces dents avaient été extraites, au cours des années 1975 et 1976, chez des adultes et des enfants habitant la région de Paimboeuf.

Les résultats suivants ont été obtenus sur des dents n'ayant subi aucun traitement.

#### a ) Pour les dents de lait des enfants de moins de 15 ans :

Chez les garçons la moyenne sur 36 individus est de **5,8 µg/g ± 3,8**.

Chez les filles la moyenne sur 34 individus est de **8,2 µg/g ± 3,5**. (notons que la valeur extrême de 44 µg/g a été incluse dans le calcul de cette moyenne)

Sur l'ensemble des garçons et des filles, soit 70 individus la moyenne est de **7,1 µg/g ± 3,5**

#### b ) Pour les dents permanentes des enfants de moins de 15 ans :

Chez les garçons la moyenne sur 6 individus est de **8,9 µg/g ± 3,5**.

Chez les filles la moyenne sur 3 individus est de **7,9 µg/g ± 6,2**.

Sur l'ensemble des garçons et des filles, soit 9 individus la moyenne est de **8,6 µg/g ± 5,2**.

#### c ) Pour les dents d'adulte :

Chez les hommes la moyenne sur 37 individus est de **23,7 µg/g ± 18,2**.

Chez les femmes la moyenne sur 37 individus est de **17,4 µg/g ± 15,2**

**Tableau N° 8 Teneur en plomb des dents en µg/g.**

<b>Teneur en plomb des dents en µg/g</b>					
Répartition des résultats par rapport à l'âge et au sexe					
	Moins de 15 ans			Hommes	Femmes
	Garçons	Filles	Garçons et Filles		
<b>Dents de lait</b>	5,8	8,2	7,1		
<b>Dents permanentes</b>	8,9	7,9	8,6	23,7	17,4

### 2°) Analyse :

Comparant ces résultats avec ceux des enquêtes américaines qui concernent des populations soumises à des expositions variables, on peut situer le degré d'exposition au plomb des gens de la région.

Dans l'enquête<sup>a</sup> d'Altshuller où, comme à Paimboeuf, le plomb était dosé dans toute la dent, la teneur moyenne en plomb des dents de lait d'enfants sans risque connu d'exposition au plomb, était de **15,1 µg/g**. Dans une enquête de Shapiro où le plomb a également été dosé dans toute la dent, la teneur était de **11,5 µg/g**.

<sup>a</sup> Altshuller, in GRUGET P, 1977, Réf. Biblio. n°80.

La teneur de **7,1 µg/g** trouvée dans les dents des enfants habitant la région de Paimboeuf est inférieure à celle des enfants américains pour lesquels l'exposition est considérée comme normale. La moyenne de 7,1 µg/g est également inférieure à la plage considérée comme pathologique par le rapport de l'INSERM<sup>a</sup>

Chez les garçons, l'examen des résultats individuels montre un maximum de **19,7 µg/g**, et six valeurs sur 36 ont été supérieures à 8 µg/g.

Chez les 34 filles, on a enregistré trois résultats supérieurs à **18,2 µg/g**, un maximum à 44 µg/g et huit supérieurs à 8 µg/g.

Ces résultats montrent que, parmi ces enfants, 14 ont des résultats supérieurs à 8 µg/g (chiffre limite de la plage de normalité indiquée par l'INSERM), mais inférieurs aux chiffres donnés par les enquêtes menées aux USA citées plus haut, exception faite de la jeune fille dont la valeur de plomb au niveau des dents a été mesurée à 44 µg/g<sup>b</sup>.

Chez les adultes, hommes et femmes, la teneur moyenne en plomb des dents est de **20,6 µg/g** donc presque trois fois supérieure à celle des moins de 15 ans, mais inférieure à la moyenne de Philadelphie. L'examen des résultats individuels en tenant compte de cette augmentation naturelle du plomb chez les gens âgés, ne montre pas de teneur évocatrice d'une exposition dangereuse au plomb. La teneur moyenne en plomb des dents d'hommes (23,7 µg/g) est supérieure à celle trouvée dans les dents des femmes (17,4 µg/g).

### 3°) Influence de la localisation du domicile [Tableau N°9 et Histogramme N°3] :

Les résultats des dosages de plomb effectués dans des dents d'enfants de moins de 15 ans habitant dans l'agglomération urbaine ont été comparés avec ceux des personnes ayant leur domicile dans les bourgs ou les villages avoisinants.

**Tableau N° 9 Teneur en plomb des dents, répartition des résultats par rapport au domicile.**

<b>Teneur en plomb, des dents en µg/g</b>						
Répartition des résultats par rapport au domicile						
Garçons et filles de moins de 15 ans						
	Garçons		Filles		Garçons et Filles	
<b>DOMICILE</b>	Nombre	<i>Moyenne</i>	Nombre	<i>Moyenne</i>	Nombre	<i>Moyenne</i>
<b><i>Pensionnat</i></b>	12	9,8	7	11,7	19	10,75
<b><i>Ville entière</i></b>	25	6,3	21	9,2	46	7,75
<b><i>Hors de la ville</i></b>	16	4,1	20	4,2	36	4,2

Cette comparaison est faite dans le tableau N°9 où l'on a classé à part un groupe de garçons et de filles vivant en permanence dans un pensionnat situé en ville à moins de 2000 m de l'usine Octel.

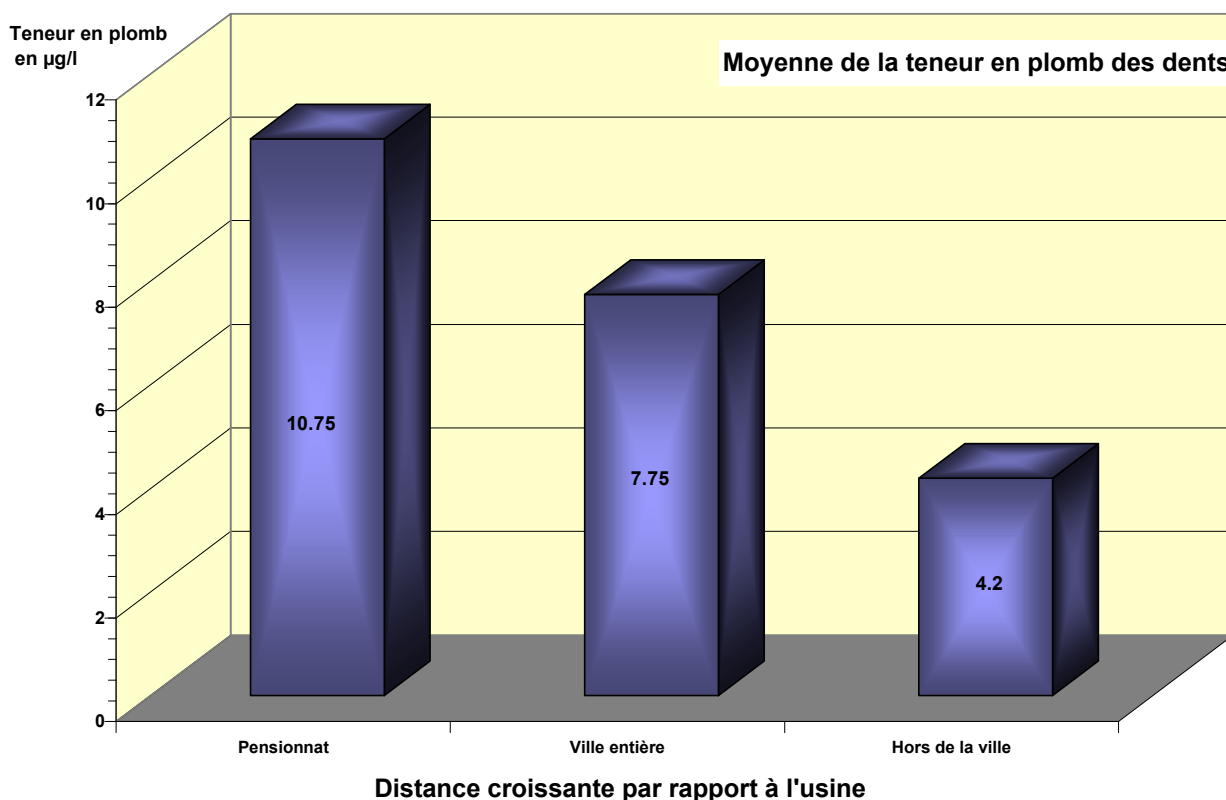
Sur le tableau N°9 et l'histogramme N°3 nous remarquons un gradient de concentration en plomb qui va décroissant du pensionnat vers l'extérieur de la ville, donc en rapport avec l'éloignement du site de l'usine.

Notons cependant que la population enfantine du pensionnat est en moyenne plus âgée si on la compare aux deux autres groupes (ville et hors de la ville). La différence mesurée est donc peut-être pour une part due à l'âge.

<sup>a</sup> INSERM Expertise Collective, 1999., Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Gruget P, 1977, Réf. Biblio. n°80.

**Histogramme N° 3 Teneur en plomb des dents, répartition des résultats par rapport au domicile.**



#### 4°) Conclusions

Etant représentative de toute l'exposition antérieure au plomb, depuis l'éruption de la dent, la teneur dentaire en plomb, lorsqu'elle est élevée, permet de dépister une cause ignorée jusque là.

D'après cette étude sur les résultats des enquêtes US actuelles, une teneur en plomb des dents d'enfants peut être considérée comme normale jusqu'à **15 µg/g**.

Chez les adultes, la teneur en plomb des dents va croissant avec l'âge et est normalement, de 2 à 4 fois supérieure à celle des enfants.

Cependant, l'absence de valeurs internationales de référence, qui nous permettraient d'estimer dans l'absolu la contamination de l'individu, rend difficile l'utilisation des dents comme indicateur biologique.

Nous retiendrons surtout de cette étude que la concentration de plomb dans les dents des enfants de moins de 15 ans, bien qu'étant à la limite du normal, décroît au prorata de la distance de l'usine au lieu de résidence.

## **II ] Campagne d'application en France de la Directive Européenne du 29 Mars 1977<sup>a</sup>**

### A ) Le contexte

La Directive du Conseil des Communautés Européennes du 29 Mars 1977 avait pour objet le criblage des niveaux de contamination en plomb des populations européennes non exposées professionnellement à ce métal.

L'étude a été réalisée par une équipe de l'Unité de Recherches Epidémiologiques et Statistiques sur l'Environnement et la Santé de l'INSERM, dirigée par Monsieur Guy HUEL.

<sup>a</sup> Huel G., 1983-1984, Réf. Biblio. n°86 et 87.

Cette campagne a utilisé comme base de détection la mesure de la plombémie. Afin d'appréhender les variations temporelles, deux campagnes de prélèvements ont été effectuées, à deux ans d'intervalle, en 1981 et en 1983.

L'échantillonnage a porté sur toutes les agglomérations de plus de 500.000 habitants et sur les zones présentant un risque élevé de pollution par une source spécifique, comme un environnement industriel polluant; l'usine Octel de Paimboeuf en faisait partie. Tous les échantillons ont été constitués de plus de cent volontaires.

La Directive comporte toutefois une difficulté méthodologique. Elle stipule que les prélèvements doivent être faits chez des "volontaires" "représentatifs" des populations vivant dans les zones faisant l'objet d'une investigation.

Or ces deux exigences sont manifestement contradictoires. Pour pallier cette difficulté les auteurs ont décidé de recourir à une technique de "pseudo-échantillonnage". Cette méthode consiste à utiliser une fraction minimale d'un prélèvement sanguin effectué à d'autres fins, sur une population de sujets dont on n'a aucune raison de penser que leur recrutement peut être influencé par leur exposition non professionnelle au plomb.

Pour Paimboeuf il a été décidé de recueillir des échantillons à partir de donneurs de sang, du centre de transfusion de Nantes.

## B ) Les résultats globaux

La plombémie mesurée était nettement plus élevée chez les hommes (**173 µg/l ± 0,2**) que chez les femmes (**124 µg/l ± 0,1**).

La plombémie varie significativement avec l'âge, montrant une tendance générale à la croissance, aussi bien chez les hommes que chez les femmes.

Il était légitime de penser qu'une diminution de la teneur en plomb de l'essence, entre les deux campagnes (0,55 g/l en 1979 et 0,40 g/l en 1981), s'accompagnerait d'une diminution relative des plombémies moyennes des individus résidant dans les grandes agglomérations.

Or la décroissance observée, chez les hommes (177 µg/l ± 0,3 en 1979 et 172 µg/l ± 0,2) et chez les femmes (125 µg/l ± 0,2 en 1979 et 124 µg/l ± 0,2 en 1982), est loin de celle à laquelle on pouvait s'attendre. Ces deux différences ne sont d'ailleurs pas statistiquement significatives.

## C ) Les résultats à Paimboeuf

Les résultats des deux campagnes réalisées sur la population de Paimboeuf en 1981 et 1983 sont donnés dans les tableaux suivants :

Tableau N° 10 Plombémie de l'échantillon de la population de Paimboeuf (1981).

Plombémie moyenne de l'échantillon De la population de Paimboeuf (en µg/l)				
Campagne de 1981				
Classes d'âge	Hommes		Femmes	
	Nombre	Moyenne	Nombre	Moyenne
0 à 10	2	100 ± 0	3	80 ± 26
11 à 20	10	146 ± 21	9	117 ± 26
21 à 30	5	184 ± 42	16	99 ± 9
31 à 40	11	207 ± 24	19	109 ± 13
41 à 50	15	219 ± 27	9	124 ± 16
51 à 60	21	232 ± 17	18	145 ± 19
61 à 70	12	132 ± 13	10	179 ± 45
71 et plus	8	170 ± 26	20	140 ± 15
TOTAL	84	190 ± 9	104	128 ± 7

Tableau N° 11 Plombémie de l'échantillon de la population de Paimboeuf (1983).

Plombémie moyenne de l'échantillon De la population de Paimboeuf (en µg/l)				
Campagne de 1983				
	Hommes		Femmes	
Classes d'âge	Nombre	Moyenne	Nombre	Moyenne
0 à 10				
11 à 20			5	102 ± 20
21 à 30	13	204 ± 35	3	133 ± 23
31 à 40	14	248 ± 34	17	135 ± 15
41 à 50	11	279 ± 54	5	108 ± 14
51 à 60	11	294 ± 56	8	173 ± 22
61 à 70				
71 et plus				
TOTAL	49	254 ± 21	38	135 ± 9

A l'analyse remarquons tout d'abord que les plombémies moyennes de Paimboeuf sont supérieures aux plombémies moyennes des grandes villes françaises (173 µg/l pour les hommes, 124 µg/l chez les femmes) [Tableau N°10].

Ces tableaux montrent par ailleurs une augmentation très nette des plombémies moyennes de la population entre 1981 et 1983. On passe de 190 µg/l à 254 µg/l chez les hommes, et de 128 µg/l à 135 µg/l chez les femmes. L'augmentation est particulièrement significative chez les hommes [Tableau N°11]. Nous évoquerons une possible explication dans la partie "critique et discussion".

Cette étude conclut en estimant que la situation est très alarmante. En effet dix pour cent de la population a des plombémies supérieures à 490 µg/l et 2 % supérieures à 590 µg/l.

#### D ) La troisième campagne de 1995<sup>a</sup>

Quinze années après l'application de la directive européenne visant la surveillance de la population française vis-à-vis du risque saturnin, une troisième campagne de contrôle fut entreprise.

Cette campagne devait à nouveau estimer l'imprégnation saturnine dans la population française et son évolution depuis les dernières campagnes de surveillance de 1979 et de 1982.

En 1995 la décroissance de l'imprégnation de la population française semble indéniable. Si l'on se réfère aux résultats obtenus à Paris, Lyon et Marseille, cette diminution moyenne est de l'ordre de 60 µg/l.

Elle représente une chute de plus de 50% par rapport au début des années 1980.

Toutefois six pour cent de cette population présente une valeur supérieure au seuil critique de 200 µg/l admis chez l'adulte.

Pour les Pays de la Loire la moyenne brute des plombémies des adultes, sur un échantillon de 189 individus, s'élevait à **52,4 µg/l** ± 24,6. Chez 114 enfants en Pays de Loire la moyenne brute était de **34,4 µg/l** ± 20,3; 1,5 % avait une plombémie supérieure à 100 µg/l et 0.2 % supérieure à 200 µg/l.

Malheureusement en 1995 aucune étude spécifique n'a eu lieu sur la population de Paimboeuf.

<sup>a</sup> Huel G., 1997, Réf. Biblio. n°91.



### III ] **Bilan des activités de dépistage du saturnisme infantile de 1992 à 1997<sup>a</sup>**

#### A ) Le contexte

Ce bilan des activités de dépistage à été réalisé par Madame Martine LEDRANS et Madame Jocelyne BOUDOT, du Réseau National de Santé Publique, en novembre 1997.

Dès 1993, le Ministère chargé de la santé a engagé avec ses partenaires ministériels (logement, environnement, industrie) un programme d'actions concertées. Parmi celles ci, figuraient :

- l'extension des activités de dépistage du saturnisme quelle qu'en soit l'origine : peintures, eau d'alimentation, environnement industriel.
- La mise en place au niveau national d'un système de traitement des données recueillies. La Direction Générale de la Santé a mis en place, en collaboration avec le Centre Anti-Poison de Paris un système de surveillance de portée nationale. Ce système a été institué par arrêté du 19 janvier 1995 et son fonctionnement défini par circulaire du 9 mai 1995.

Le système avait trois objectifs : recenser les cas d'intoxication par le plomb, évaluer les stratégies de dépistage mises en œuvre et suivre la prise en charge des enfants intoxiqués.

#### B ) Les résultats

Trente départements ont participé au système national de surveillance du saturnisme infantile depuis 1992. Parmi eux, seulement dix-huit ont effectué des prélèvements sur plus de dix enfants.

Pour les Pays de la Loire, le Centre Anti-Poison d'Angers était chargé de la centralisation des résultats. Malheureusement des difficultés rencontrées lors de la saisie et de l'exploitation des données venant de ce CAP n'ont pas permis d'enregistrer les caractéristiques des 99 enfants soumis au dépistage.

Trente-huit résultats ont cependant pu être recueillis pour le département de la Loire-Atlantique. Sur ce nombre trente-six étaient inférieurs à 100 µg/l, un compris entre 100 et 149 µg/l, un autre compris entre 150 et 249 µg/l.

#### C ) La campagne de dépistage en Loire-Atlantique<sup>b</sup>

De février 1995 à mai 1997, dans le cadre d'une dynamique organisée régionalement par la DRASS et les services santé-environnement des DDASS, un dépistage environnemental du plomb, dans l'habitat ancien principalement, mais aussi sur quelques sites industriels, a été effectué parallèlement à des mesures de plombémie chez des enfants apparemment exposés au risque saturnin.

Durant ces trois années, des agglomérations du département, comportant des quartiers anciens importants, avec présence de jeunes enfants, ont été ciblées.

Quatre cents logements ont pu être visités principalement sur Nantes, Pornic, Ancenis, Chateaubriant et Paimboeuf.

Les résultats ont été colligés par le CAP d'Angers.

**A Paimboeuf**, cinq enfants de quatre familles ont fait l'objet d'une demande de plombémie. Dans les logements de ces familles, des peintures au plomb usagées avaient été décelées. La profession d'un des pères de famille, récupérateur de métaux non ferreux, avait majoré l'inquiétude des enquêteurs pour les deux enfants.

De l'enquête réalisée auprès du Docteur Patrick Harry, responsable du CAP d'Angers, il ressort que seuls ces deux enfants ont effectué les examens réclamés. L'un de deux enfants (9 ans) avait une plombémie à **126 µg/l** le deuxième (6 ans) à **32 µg/l**.

<sup>a</sup> Ledrans M., 1997, Réf. Biblio. n°111.

<sup>b</sup> DRASS des Pays de la Loire, 1995-1997, Réf. Biblio. n°56.

L'entretien avec le Dr Harry confirme l'absence de toute autre plombémie infantile signalée dans la région des Pays de la Loire depuis 1997.

## Etude environnementale

Après avoir évoqué l'étude d'ANTEA (BRGM), nous nous appuyons essentiellement sur l'ensemble des résultats des deux expertises de l'INRA réalisées par le Professeur PROST : "L'expertise Paimboeuf"<sup>a</sup> et "le Suivi de la qualité de l'eau et des végétaux autour du site de Paimboeuf"<sup>b</sup>.

### 1] Etude des vents dominants<sup>c</sup>

Les **vents dominants** viennent de l'**Ouest/Sud-Ouest** (environ **45 %** au total), fréquents en période hivernale, mais aussi d'**Est/Nord-Est** (environ **30,5 %**) sans être toutefois aussi forts. Cette direction se rattache au fait que Paimboeuf se situe dans l'estuaire de la Loire à proximité de son embouchure (l'estuaire a une orientation Est/Ouest). Les vents de tempête (c'est à dire ayant des forces d'au moins 100 km/h ou 28 m/s) viennent du Sud-Ouest associés aux profondes dépressions atlantiques.

Il existe donc deux axes de vents dominants et, par voie de conséquence, l'ensemble de l'horizon géographique peut être divisé en quatre quadrants représentés sur la carte N°4.

#### a) Axe des vents d'Ouest/Sud-Ouest :

Ce premier axe va de l'Ouest/Sud-Ouest vers Nord-Est. Les vents les plus fréquents et surtout les plus violents soufflent dans cet axe; 5 % de l'ensemble ont une vitesse supérieure à 8 m/s et 18 % sont supérieurs à 5 m/s.

Lorsque ces vents soufflaient, les retombées des polluants atmosphériques émis par la cheminée de l'usine devaient être majorées dans le quadrant Nord-Est, donc dans la Loire (quadrant N°3).

#### b) Axe des vents d'Est/Nord-Est :

Le second axe va de l'Est/Nord-Est vers l'Ouest/Sud-Ouest. Ces vents sont moins fréquents et surtout moins violents; 11.2 % sont inférieurs à 5 m/s, à peine 0.3 % sont supérieurs à 8 m/s.

Lorsque de telles conditions météorologiques existaient les retombées étaient alors plus proches de la cheminée dans le quadrant Ouest/Sud-Ouest, donc dans un triangle au sud de la ville de Paimboeuf (quadrant N°1).

Les deux autres quadrants Nord (N°2) et Sud (N°4) ne sont chacun exposés aux vents que pendant 12,5 % du temps. Ils ont donc dû recevoir beaucoup moins de pollution.

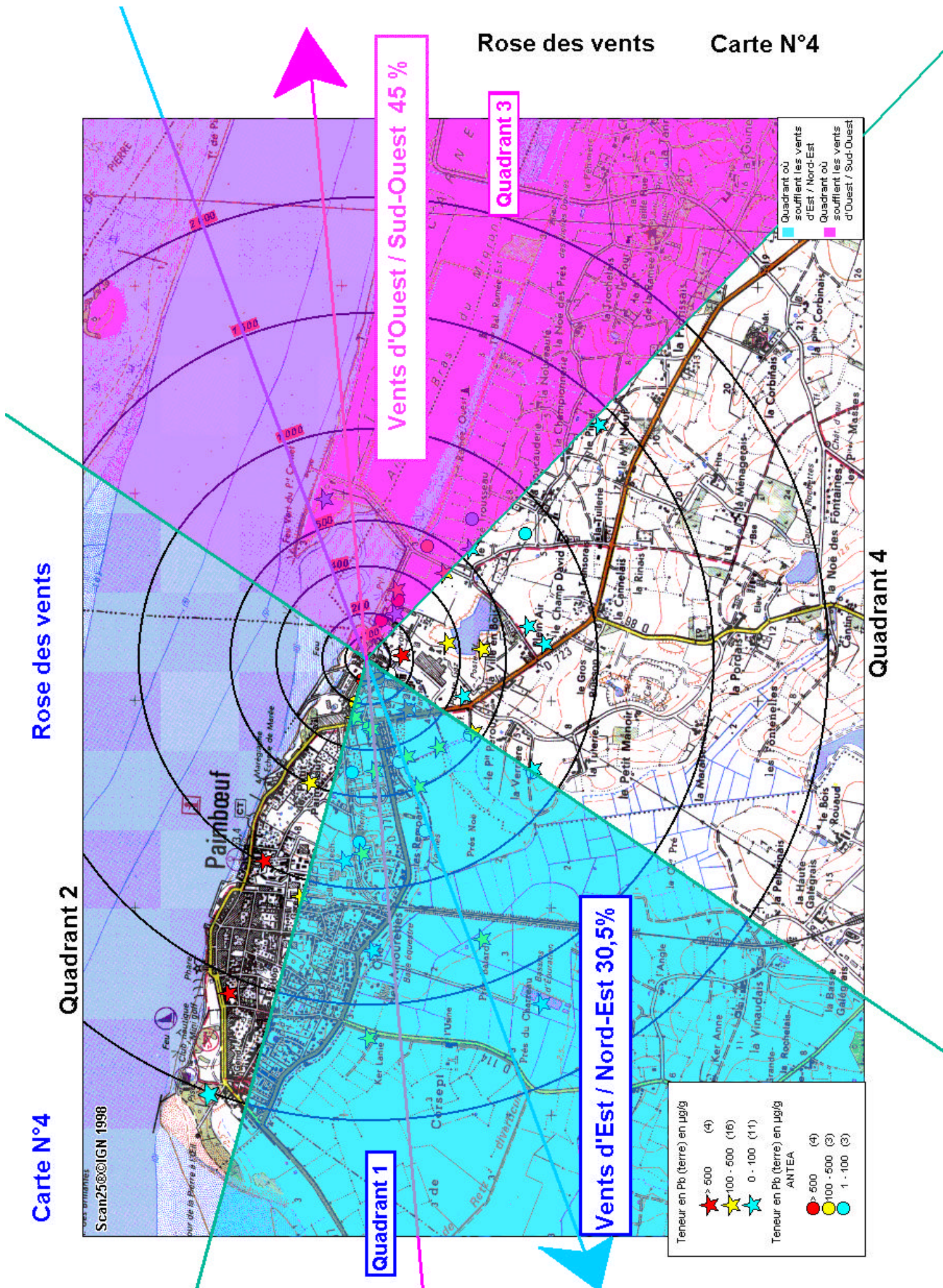
<sup>a</sup> Prost R., 1999, Réf. Biblio. n°136.

<sup>b</sup> Prost R., 2000, Réf. Biblio. n°137.

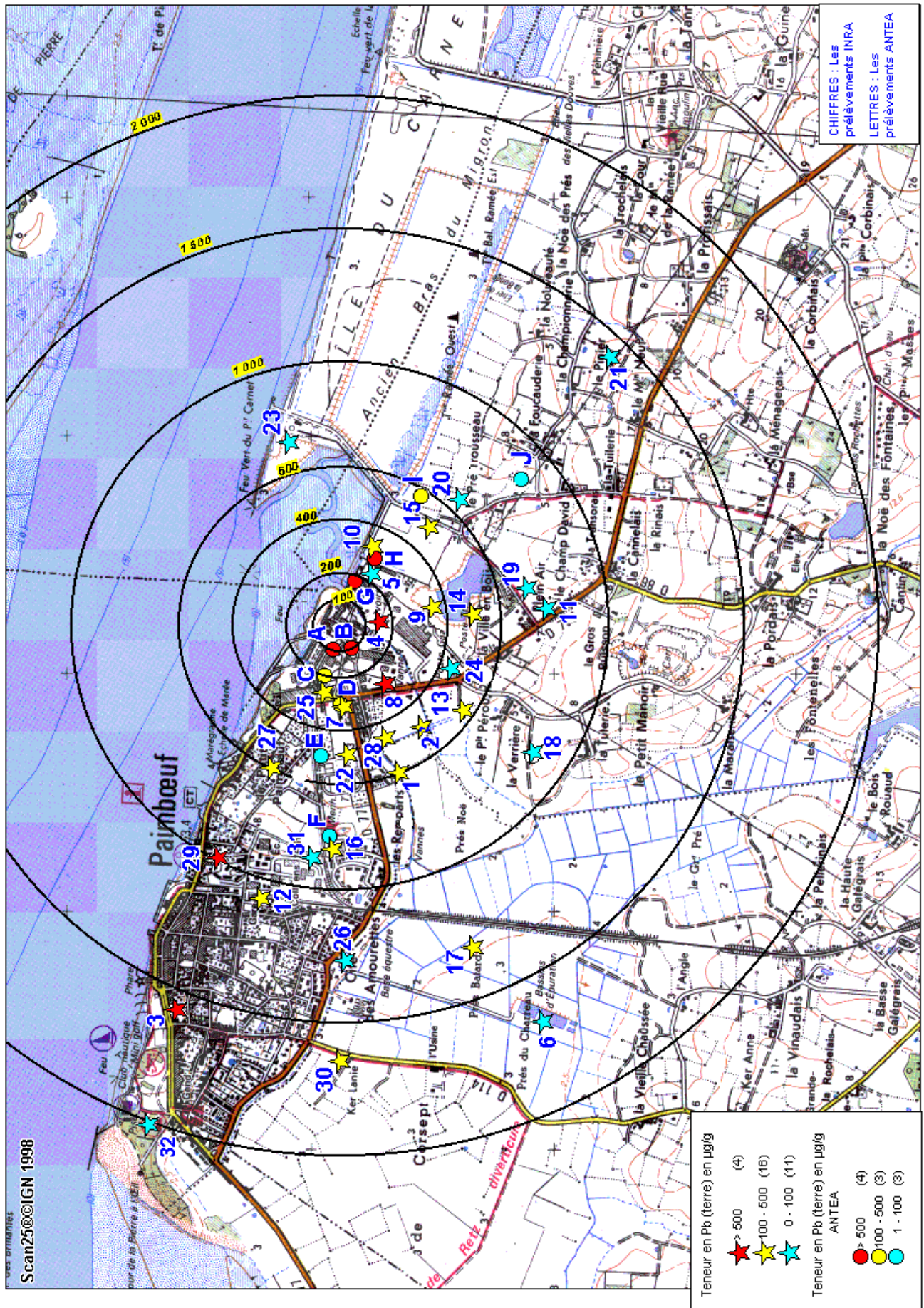
<sup>c</sup> Les "Roses de vents" de METEO-FRANCE sont en annexe C.

Rose des vents

Carte N°4



Carte N°5 Localisations des prélèvements INRA et ANTEA



## II ] L'étude ANTEA de 1996<sup>a</sup>

En 1996, à la demande de la DRIRE, dix prélèvements ont été effectués par le laboratoire ANTEA du BRGM sur le site de Paimboeuf. Ces prélèvements ont eu lieu dans la couche de 0 à 10 cm. La valeur pondérale de chaque prélèvement n'a pas été précisée.

Les prélèvements réalisés par l'INRA à une profondeur différente et avec des techniques métrologiques qui ne sont pas en tout point comparables, ne peuvent être amalgamés avec ceux d'ANTEA.

### A ) Etude en cercles concentriques de cette pollution. [Tabl. N°12; Carte N°5]

Dans un rayon de 310 m autour de la cheminée de l'usine les valeurs de concentration en plomb retrouvées dans les terres sont importantes, supérieures à 640 mg/Kg [en rouge sur le tableau], sauf pour le prélèvement "C" qui est à 162 mg/Kg [en bleu sur le tableau].

Depuis la cheminée de l'usine jusqu'à 520 m les concentrations de plomb sont toutes supérieures à 100 mg/Kg.

Au-delà les trois prélèvements restants donnent des résultats inférieurs à la référence de 100 mg/Kg.

**Tableau N° 12 Prélèvements ANTEA, classement par distance.**

Prélèvements ANTEA sur le site de l'usine OCTEL de Paimboeuf en 1996		
(profondeur du prélèvement 0-10 cm)		
Classement par distance / usine		
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg (ppm)
A	125	<b>641</b>
B	140	<b>2737</b>
G	180	<b>954</b>
C	230	<b>162</b>
H	310	<b>6650</b>
D	350	<b>153</b>
I	520	<b>263</b>
E	550	91
J	810	74
F	900	84

### B ) Etude selon l'axe des vents [Graphique N°4 et Tableau N°13]

Sur les dix prélèvements, quatre ont été effectués dans le quadrant "1" à l'Ouest. Dans un rayon de 140 m par rapport à l'usine, les valeurs y sont élevées voire très élevées (supérieures à 641 mg/Kg). Jusqu'à 350 m les concentrations sont toujours supérieures à 150 mg/Kg.

Dans le quadrant "2", c'est à dire au Nord-Ouest, les deux prélèvements sont inférieurs à 100 mg/Kg.

Dans le quadrant "3", à l'Est les valeurs restent très élevées jusqu'à 310 m, (supérieures à 950 mg/Kg). Elles restent ensuite supérieures à 260 mg/Kg dans un rayon de 520 m.

L'unique prélèvement du quadrant "4" à 810 m est inférieur à 100 mg/Kg.

Les quadrants les plus touchés par la pollution sont situés sous les vents dominants. Le quadrant "3" à l'Est donc sous les vents dominants d'Ouest est particulièrement touché. La situation est comparable pour le quadrant "1" situé sous les vents d'Est/Nord-Est où l'on retrouve également des valeurs élevées.

Les deux autres quadrants qui ne sont chacun exposés au panache de fumée emporté par les vents que pendant 12,5 % du temps, sont beaucoup moins pollués.

Le graphique N°4 représente la différence de pollution des terrains entre l'Ouest et l'Est de l'usine.

<sup>a</sup> Etude ANTEA in PROST P. Réf. Biblio. n°136.

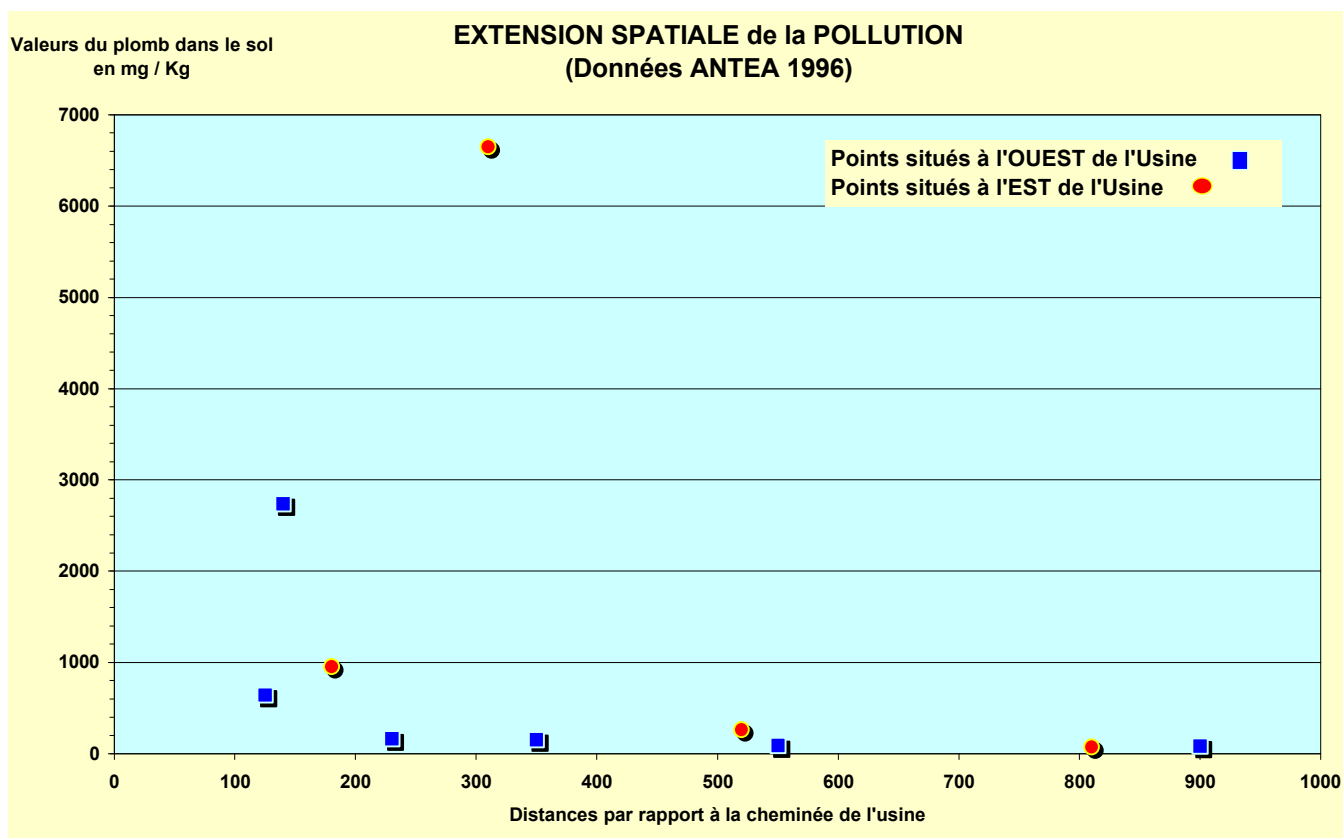
Tableau N° 13 Prélèvements ANTEA, classement par quadrant.

Prélèvements ANTEA sur le site de l'usine OCTEL (1996)				
(profondeur du prélèvement 0-10 cm)				
Classement par quadrant				
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg (ppm)	Orientation par rapport à l'usine	Quadrant
A	125	641	O	1
B	140	2737	O	1
C	230	162	O	1
D	350	153	O	1
E	550	91	NO	2
F	900	84	NO	2
G	180	954	E	3
H	310	6650	E	3
I	520	263	E	3
J	810	74	SE	4

### C ) Conclusion

Remarquons qu'à partir de 350 m, quel que soit le quadrant géographique, les prélèvements sont tous inférieurs à 100 mg/Kg. Les seules valeurs supérieures à 530 mg/Kg sont situées à l'intérieur de l'usine ou en sont très proches.

Graphique N° 4 Extension spatiale de la pollution (ANTEA 1996).



### III ] "L'expertise Paimboeuf" de l'INRA du 26 janvier 1999<sup>a</sup>

Cette étude est la synthèse des prélèvements et travaux effectués par l'INRA, à la demande de la DRIRE, sur le site de Paimboeuf en 1993 (INRA de Bordeaux) et en 1997 (INRA de Versailles).

Elle aborde la pollution par le plomb sous plusieurs aspects dont trois nous intéressent particulièrement :

- La teneur en plomb des sols: elle est directement en rapport avec le risque d'exposition digestive et pulmonaire par des poussières chargées en plomb.
- L'extension spatiale de cette pollution, qui nous permettra de définir un périmètre géographique à risque.
- La biodisponibilité du plomb pour les cultures susceptibles d'être utilisées directement ou indirectement par l'homme.

#### A ) Teneur en plomb des sols en fonction de la profondeur [Tableau N°14] :

Sur 32 sites des prélèvements de terre ont été effectués à trois niveaux de profondeur. Aucun profil pédologique n'a cependant été réalisé en parallèle aux recueils d'échantillons.

Dans la couche de 0 à 20 cm, on trouve des teneurs supérieures à la limite de 100 mg/Kg<sup>b</sup> sur dix-neuf sites [en bleu et rouge sur le tableau] et des taux supérieurs à 530 mg/Kg dans quatre prélèvements [en rouge sur le tableau].

Si on considère la couche de 20 à 40 cm **neuf sites** dépassent les 100 mg/Kg et **un seul** 530 mg/Kg. Dans la couche 40 à 60 cm seuls **quatre sites** sont au-delà des 100 mg/Kg de plomb; **aucun** n'est au-delà de 530 mg/Kg.

Remarquons tout d'abord que le plomb est toujours en plus forte concentration dans les 20 premiers centimètres du sol, et qu'il existe un gradient de concentration qui va diminuant quand on s'enfonce dans le sol. La seule exception majeure est le point de prélèvement N°23 qui est un **marécage**; la cinétique du plomb est alors différente de celle que l'on observe en pleine terre.

Quatre autres sites prêtent à discussion. Le prélèvement N°6; les concentrations en plomb y sont pratiquement constantes. Notons que ce lieu de recueil est une station d'épuration mais que le point précis de l'échantillonnage nous manque pour envisager une explication objective. Le site n°24 pour lequel les données sont partielles. Le jardin N°3 a un gradient variable décroissant de 20 à 40 cm puis croissant de 40 à 60 cm; nous en reparlerons dans le paragraphe suivant. Le lieu de recueil N°5 "la torche" semble remanié; il présente également un gradient de concentration variable.

Le plomb prédomine donc dans la tranche des 0 à 20 cm. Ces résultats sont conformes aux précédentes études de Mench (1993)<sup>c</sup>.

<sup>a</sup> Prost P., 1999, Réf. Biblio. n°136.

<sup>b</sup> Teneurs maximales admissibles dans les sols, après épandage de boues de station d'épuration (arrêté du 8/01/98) Ref. Texte n°28.

<sup>c</sup> Mench, 1993, in PROST P, Réf. Biblio. n°136.



Tableau N° 14 Prélèvements INRA, classement par ordre croissant de la teneur en plomb.

Prélèvements INRA en fonction de la profondeur (1997)					
Classés par ordre croissant de la teneur en plomb					
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg (ppm) (profondeur du prélèvement 0-20 cm)	Plomb en mg/Kg (ppm) (profondeur du prélèvement 20-40 cm)	Plomb en mg/Kg (ppm) (profondeur du prélèvement 40-60 cm)	Nature du terrain
26	1400	17.5			Terre
21	1560	35.9	24.1	20.8	Terre
32	2000	37	32.4	33.3	Terre
18	970	46.3	32.6	20.1	Champ
11	850	49.3			Terre
6	1900	49.3	53.9	51.1	Station épuration
24	470	56.6	97.7		Terre (EDF)
13a	640	66.5	53.2	40.3	Champ
31	990	67.7	49.2		Fossé
19	770	68.4			Pré
13c	640	70	35.2	31.4	Champ
5	220	82.2	43.5	84.5	Terre (torche)
23	760	90.5	128.3	132.3	Marécage
20	710	97.8	51.2	46.6	Pré
14	530	99.8	38.9		Plan d'eau
1	660	101.8	70.6	37	Jardin
22	550	102.1	44.1	29.3	Pré
17	1450	104.9	38.9	39.1	Près voie ferrée
16	940	105.7	65.4	76	Jardin (salarié Octel)
2	520	107.8	45.4	42.1	Fossé
30	1840	108	53.8	45.7	Champ (ordures)
15	500	118.4	49.8	47	Terre
28	480	182.5	106.7	102.3	Jardin
12	1230	183.8	115.8	88.2	Jardin (gare SNCF)
7	360	186	101.1	57.6	Terrain
27	660	205.3	175.1	154.5	Jardin
25	290	218.8	132.7	67.5	Jardin
9	360	249	83.2	44	Terre
13b	640	421.3	295.9		Champ
10	350	493	77.3	61.1	Terre
29	1130	541.8			Jardin
3	1750	705	171	259	Jardin
4	140	812			Terre
8	320	845	761		Terre

## B ) L'extension spatiale de cette pollution.

1°) Etude en cercles concentriques [Tableau 15, graphique N°5 et carte N°5] :

Dans un rayon d'environ **350 m** autour de la cheminée de l'usine les sites sont situés dans l'emprise de l'usine (jusqu'à la maison du directeur). Ces localisations dépassent bien souvent la valeur seuil de **530 mg/Kg** de plomb. Faisant exception à la règle nous retrouvons le point N°5 dont nous avons déjà parlé, et le jardin de la maison du directeur N°25 qui présente tout de même une valeur de 218,8 mg/Kg.

Puis jusqu'à une distance d'environ **660 m** par rapport à la cheminée de l'usine les prélèvements sont presque tous supérieurs à **100 mg/Kg**. Fait exception le N°24, dont nous avons évoqué le cas particulier et le N°14 qui est en fait un plan d'eau avec une cinétique particulière du plomb.

On remarque trois prélèvements pour le site N°13. Ces lieux de recueils sont situés à quelques centaines de mètres les uns des autres. Les localisations N°13 a et N°13 c ont des concentrations inférieures à 100 mg/Kg, alors que la terre prélevée en 13 b contient 421,3 mg/Kg. Ces différences suggèrent des apports exogènes en terre contaminée sur 13 b ou en terre non contaminée sur les 13 a et 13 c. Le propriétaire de la parcelle N°13 b pourrait semble-t-il avoir épandu de la terre dans son jardin.

Au-delà de 660 m, les résultats sont pratiquement tous inférieurs à 100 mg/Kg, à l'exception de quelques points que nous allons analyser. Le jardin N°16 appartient à un salarié de l'usine Octel; une contamination par apport exogène pourrait donc peut être expliquer le chiffre de 105,7 mg/Kg. Le point N°17 mais surtout le site N°12 (la gare) qui est à 183,8 mg/Kg pourraient être en rapport étroit avec le transport ferroviaire (transport de matériaux potentiellement pollués depuis et vers l'usine Octel).

Plus inquiétants, sont les deux points N°29 et N°3 situés au Nord-Ouest dans la ville de Paimboeuf à 1130 m et 1750 m de la cheminée de l'usine. Les résultats sont respectivement de 541,8 mg/Kg et 705 mg/Kg de terre. La pollution de ces jardins est-elle liée à l'activité d'Octel, est-elle plus ancienne (présence au XIX<sup>ième</sup> siècle d'ateliers de métaux non ferreux à Paimboeuf) ou liée à l'apport de matériaux contaminés par le plomb. En l'absence d'autres prélèvements dans cette zone, il apparaît difficile de trancher.

Graphique N° 5 Extension spatiale de la pollution (INRA 1997).

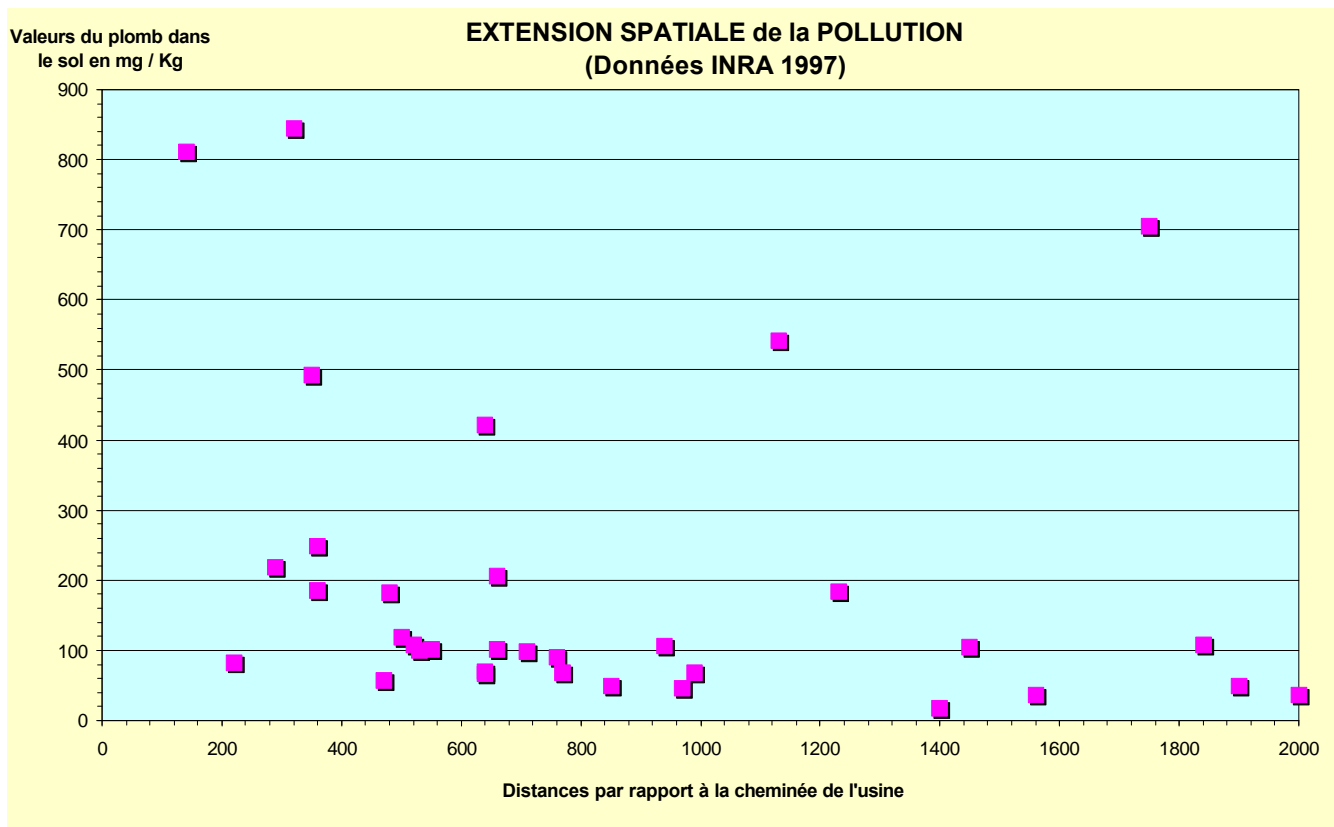


Tableau N° 15 Prélèvements INRA, classement par distance.

Prélèvements INRA autour du site de l'usine OCTEL (1997)			
(profondeur du prélèvement 0-20 cm)			
Par ordre croissant de distance /cheminée de l'usine			
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg (ppm)	Nature du terrain
<b>4</b>	<b>140</b>	<b>812</b>	
5	220	<b>82.2</b>	Torche
25	290	<b>218.8</b>	Jardin Directeur
<b>8</b>	<b>320</b>	<b>845</b>	
10	350	<b>493</b>	
7	360	<b>186</b>	
9	360	<b>249</b>	
24	470	<b>56.6</b>	EDF
28	480	<b>182.5</b>	
15	500	<b>118.4</b>	
2	520	<b>107.8</b>	
14	530	<b>99.8</b>	Plan EAU
22	550	<b>102.1</b>	
13a	640	<b>66.5</b>	
13c	640	<b>70</b>	
13b	640	<b>421.3</b>	
1	660	<b>101.8</b>	
27	660	<b>205.3</b>	
20	710	<b>97.8</b>	
23	760	<b>90.5</b>	Marécage
19	770	<b>68.4</b>	
11	850	<b>49.3</b>	
16	940	<b>105.7</b>	Jardin (salarié Octel)
18	970	<b>46.3</b>	
31	990	<b>67.7</b>	
<b>29</b>	<b>1130</b>	<b>541.8</b>	Jardin
12	1230	<b>183.8</b>	Jardin (gare SNCF)
26	1400	<b>17.5</b>	
17	1450	<b>104.9</b>	Près voie ferrée
21	1560	<b>35.9</b>	
<b>3</b>	<b>1750</b>	<b>705</b>	
30	1840	<b>108</b>	
6	1900	<b>49.3</b>	
32	2000	<b>37</b>	

2°) Etude selon l'axe des vents [Tableau N°16 et Carte N°4] :

a) Axe des vents de l'Ouest/Sud-Ouest :

Deux des quatre points situés dans le quadrant N°3 à l'Est/Nord-Est présentent des valeurs assez élevées, presque 500 mg/Kg pour le site N°10. Les deux autres prélèvements, dont nous avons déjà évoqué les particularités sont inférieurs à 100 mg/Kg. Rappelons que le N°23 est un marécage où la cinétique du plomb est particulière.

b) Axe des vents de l'Est/Nord-Est :

La majorité des sites situés dans le quadrant N°1 à l'Ouest/Sud-Ouest ont des résultats supérieurs à 100 mg/Kg.

## c) Quadrant N°2 :

Ce quadrant est soumis aux vents du Sud-Est qui sont beaucoup moins fréquents. Les résultats des prélèvements y sont contrastés. Un semble avoir des chiffres élevés à sa situation près de la gare. Sauf les sites N°29 et N°3 dont nous avons déjà parlé, seul le point N°27 présente des chiffres supérieurs à 100 mg/Kg.

## d) Quadrant N°4 :

Les vents du Nord y soufflent peu et sont de faible intensité.

Sauf deux points situés à 140 m de l'usine (812 mg/Kg) et à 360 m (249 mg/Kg), les sept autres sites de prélèvement ont des valeurs de plomb inférieures à 100 mg/Kg.

## e) Analyse :

Notons tout d'abord le faible nombre et la répartition inégale des prélèvements, nous y reviendrons dans la partie "critique et discussion".

A propos des valeurs de la concentration en plomb, on remarque une très nette prépondérance des résultats **supérieurs à 100 mg/Kg** dans les quadrants 1 et 2, soit l'**Ouest** de l'usine. A l'exception des points particuliers N°29 et N°3, seuls des points situés au-delà de 660 m ont des résultats inférieurs à 100 mg/Kg.

A l'**Est** de l'usine, dans le quadrant "3", les prélèvements sont également élevés. Sauf les cas particuliers N°5 et N°23, ils sont supérieurs à 100 mg/Kg.

A **Sud** de l'usine par contre, dans le quadrant 4, prédominent des prélèvements **inférieurs à 100 mg/Kg**. Seuls les points situés dans un rayon inférieur à 360 m sont supérieurs à 100 mg/Kg. [Tableau 8]

Tableau N° 16 Prélèvements INRA, classement par quadrant.

Prélèvements INRA autour du site de l'usine OCTEL de Paimboeuf (1997)					
Classés par quadrant géographique					
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg (ppm) (profondeur du prélèvement 0-20 cm)	Nature du terrain	Direction par rapport à l'usine	Quadrant
25	290	218.8	Jardin	O	1
7	360	186	Terrain	O	1
22	550	102.1	Prés	O	1
16	940	105.7	Jardin (salarié Octel)	O	1
31	990	67.7	Fossé	O	1
26	1400	17.5	Terre	O	1
30	1840	108	Champ (ordures)	O	1
8	320	845	Terre	SO	1
28	480	182.5	Jardin	SO	1
2	520	107.8	Fossé	SO	1
13a	640	66.5	Champ	SO	1
13c	640	70	Champ	SO	1
13b	640	421.3	Champ	SO	1
1	660	101.8	Jardin	SO	1
17	1450	104.9	Près voie ferrée	SO	1
6	1900	49.3	Station épuration	SO	1
27	660	205.3	Jardin	NO	2
29	1130	541.8	Jardin	NO	2
12	1230	183.8	Jardin (gare SNCF)	NO	2
3	1750	705	Jardin	NO	2
32	2000	37	Terre	NO	2
5	220	82.2	Terre (torche)	E	3
10	350	493	Terre	E	3
15	500	118.4	Terre	E	3
23	760	90.5	Marécage	NE	3
4	140	812	Terre	S	4
9	360	249	Terre	S	4
24	470	56.6	Terre (EDF)	S	4
14	530	99.8	Plan d'eau	S	4
19	770	68.4	Pré	S	4
11	850	49.3	Terre	S	4
18	970	46.3	Champ	S	4
20	710	97.8	Pré	SE	4
21	1560	35.9	Terre	SE	4

## C ) Biodisponibilité du plomb

L'usine étant arrêtée, il s'agit de savoir quelle est la fraction de plomb présent dans la terre qui est susceptible d'être absorbée par les plantes utilisées pour nourrir les animaux ou par les légumes consommés par l'homme.

Une étude de l'état physico-chimique du plomb présent dans la terre a été effectuée par l'INRA. Le Professeur PROST en conclut l'hypothèse suivante : "Le plomb serait fixé sur les fonctions phénols et carbonyles portées par les substances humides du sol".

Sur des cultures expérimentales effectuées en petits vases avec de la terre contenant 250 mg/Kg de plomb, la quantité de plomb extraite par le "ray-grass", qui sert de plante test, est de 3,7 mg/Kg de matière sèche<sup>a</sup>.

Cette valeur est pratiquement du même ordre de grandeur que celle trouvée dans les fourrages à base de graminées récoltés en zones rurales non contaminées par le plomb (2,1 mg/Kg de matière sèche). Elle est inférieure à la concentration maximum admise dans les fourrages verts en France soit 40 mg/Kg de matière sèche.

A la demande de l'INRA, des tests de biodisponibilité ont été effectués par le laboratoire de la Société Commerciale des Potasses et de l'Azote (SCPA) à Aspach-le-Bas selon la même procédure que celle utilisée par Mench. Ces tests ont été entrepris sur quatre échantillons provenant d'un champ (N°18) et de trois jardins (N°1, N°7, et N°27).

**Tableau N° 17 Test de biodisponibilité sur le Ray-Grass**

Test de biodisponibilité sur le Ray-Grass			
Numéro du site	Teneur en plomb des terres en mg/Kg	Teneur maximum en plomb du "Ray-Grass" en mg/Kg de matière sèche	Teneur moyenne en plomb du "Ray-Grass" en mg/Kg de matière sèche
1	<b>101,8</b>	0,65	0,37
7	<b>186</b>	<b>1,83</b>	<b>1,29</b>
18	46,3	0,38	0,22
27	<b>205,3</b>	0,68	0,37

Pour chaque test de culture, trois coupes ont été effectuées; la concentration en plomb de l'échantillon ayant la valeur maximum, puis la moyenne des trois coupes sont fournies dans le tableau N°17.

On note une forte mobilisation du plomb dans le cas de l'échantillon prélevé en N°7. Ceci est probablement à relier à la faible valeur du pH relevée sur ce site (pH = 4,4).

Nous constatons par ailleurs que chaque plante est susceptible de prélever des quantités différentes en éléments potentiellement toxiques.

Malgré tout, les résultats acquis avec le ray-grass permettent de comparer la biodisponibilité des échantillons de terre. Ils donnent une idée de la quantité de plomb qui peut être absorbée par une plante, en fonction de la concentration du plomb dans la terre.

Rappelons que les valeurs limites proposées par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHP)<sup>b</sup> pour les légumes à feuilles sont pour le plomb de 0,5 mg/Kg de poids frais (soit en estimant l'hydratation à 90 %, 5 mg/Kg de matière sèche). Notons que toutes les valeurs trouvées sont nettement inférieures à ces recommandations.

<sup>a</sup> Mench et al., 1993, in PROST P., Réf. Biblio. n°136.

<sup>b</sup> CSHP, 1996, Réf. Biblio. n°33.

## D ) Conclusion

Observons tout d'abord la très faible mobilité du plomb au travers des horizons du sol. Il n'y a donc pas de risque d'extension de la pollution en profondeur, en particulier de contamination des eaux souterraines.

Par ailleurs, du fait des conditions météorologiques, la ville de Paimboeuf était, lors du fonctionnement de l'usine, surtout exposée dans sa partie Sud. **Il existe dans le quadrant considéré et jusqu'à 1450 m, des sites contaminés avec un taux de plomb supérieur à 100 mg/Kg.** La moyenne arithmétique de ces points est de 172,18 mg/Kg  $\pm$ 196,2, la moyenne géométrique à 115,21 mg/Kg, la médiane à 105,3 mg/Kg. Mais un seul prélèvement pèse très lourd le N°8; sans lui la moyenne arithmétique de ces points est de 127,33 mg/Kg  $\pm$ 94,15, la moyenne géométrique à 100,89 mg/Kg, la médiane à 104,9 mg/Kg.

**A l'Est au-delà de 500 m, il n'y a plus aucun prélèvement supérieur à 100 mg/Kg.**

Remarquons également que tout autour de l'usine dans un **rayon égal à 500 m** les prélèvements révèlent presque toujours un taux de plomb **supérieur à 100mg/Kg**, et cela quel que soit le quadrant géographique.

Il est toutefois essentiel de noter que la prédominance des vents d'Ouest/Sud-Ouest a entraîné une grosse partie des polluants aériens dans la Loire.

Globalement la moyenne d'absorption du plomb par les végétaux est largement inférieure aux recommandations du CSHP<sup>a</sup>.

## **IV ] Expertise INRA du 1<sup>er</sup> février 2000 :** **"Suivi de la qualité de l'eau et des végétaux autour du site de Paimboeuf"<sup>nb</sup>**

### A ) Le contexte

Cette étude fait suite à "L'expertise Paimboeuf" de 1997. Elle a été également réalisée par M. le Professeur PROST de l'INRA de Versailles. Son but est d'évaluer encore plus précisément l'impact des activités industrielles du site de Paimboeuf sur l'environnement. Cette approche s'effectuera en analysant la teneur en plomb des eaux de surface, des vases, puis des végétaux.

Pour évaluer la qualité des eaux de surface, des prélèvements d'eau ont été effectués dans des mares, des fossés et des puits situés autour de l'usine. L'eau a été prélevée après avoir remis, quand cela était possible, la vase en suspension. Les sites de prélèvement sont localisés sur la carte [Carte N°6].

Pour apprécier la qualité des végétaux produits à Paimboeuf, des prélèvements de légumes dans les jardins et d'herbes dans certains prés, ont été effectués [Carte n°7].

### B ) Analyse des eaux de surface [Carte N°6]

#### 1°) Méthodes :

Les échantillons d'eau ont été prélevés en mai 1999.

L'eau chargée de matières en suspension (MES) a été filtrée sur filtre millipore dont les pores ont un diamètre < 0,45  $\mu$ m. Les analyses ont été réalisées au laboratoire d'analyse des sols de l'INRA d'Arras.

Le tableau N°9 nous présente les résultats de ces analyses associés, quand ils existent, aux chiffres des prélèvements de terre réalisés en 1997. Apparaissent également le pH, les teneurs en plomb en  $\mu$ g/l des eaux avant et après avoir été filtrées et les teneurs en matières en suspension (MES) en mg/l.

Une colonne nous donne les teneurs en plomb des matières en suspension prélevées avec les eaux des mares (en mg/Kg de matière sèche).

<sup>a</sup> CSHP, 1996, Réf. Biblio. n°33.

<sup>b</sup> Prost P., 2000, Réf. Biblio. n°137.

Une autre colonne nous renseigne sur la quantité de plomb présent dans les vases en mg/Kg.

2°) Analyse [Tableau N°18] :

La teneur du plomb dans les eaux filtrées a un maximum de 10,15 µg/l au point N°1, à 520 m de la cheminée de l'usine. Les eaux brutes, non filtrées, arrivent à un maximum de 38,03 µg/l au site N°30 à 1840 m de l'usine. Ces mesures ne dépassent donc jamais les valeurs seuil de potabilité de 50 µg/l. Seul le site N°30 dépasserait la future norme de 25 µg/l applicable dans cinq ans.

Les eaux prélevées avec de la vase ou des sédiments, puis filtrées, ont une teneur maximum de 10,68 au point 21 à 1560 m de la cheminée. Elles sont donc toujours conformes aux recommandations.

Par contre ces mêmes eaux non filtrées ont une teneur supérieure aux normes dans le cas des sites N°10 (806,8 µg/l à 350 m), N°21 (59,07 µg/l à 1560 m) et N°31 (55,48 µg/l à 665 m).

Ce dépassement des normes semble donc lié à la présence dans l'eau de matières en suspension contaminées par le plomb puisque les eaux filtrées satisfont aux normes de potabilité.

En effet le calcul des teneurs en plomb des matières en suspension prélevées avec l'eau de ces mares nous donne des concentrations de 110 mg/Kg pour le site N°10, de 16 mg/Kg pour le point N°21 et de 125 mg/kg pour la mare N°31 (mg/Kg de matière sèche). Rappelons que l'arrêté du 8 janvier 1998 fixe les valeurs pour les sols sur lesquels des boues ont été épandues à 100 mg/Kg<sup>a</sup>.

Ces résultats sont par ailleurs cohérents avec les analyses effectuées sur les vases prélevées au point N°10 (157,8 mg/Kg) et au site N°21 (28 mg/Kg). Pour la mare N°10 et la mare N°31, les deux "normes" eau et sol sont dépassées. Ces chiffres sont toutefois inférieurs aux chiffres trouvés dans la terre, aux mêmes points, en 1997.

Le fait que les eaux filtrées ne dépassent pas les normes, bien que l'on ait dans certains cas des boues contaminées, s'explique par la faible mobilité du plomb retenu par les matières en suspension.

Notons que le pH des échantillons d'eau est dans presque tous les cas supérieur à 7.

En conclusion quelle que soit la distance par rapport à l'usine, sauf pour les deux mares N°10 et N°31, la contamination par le plomb reste très faible.

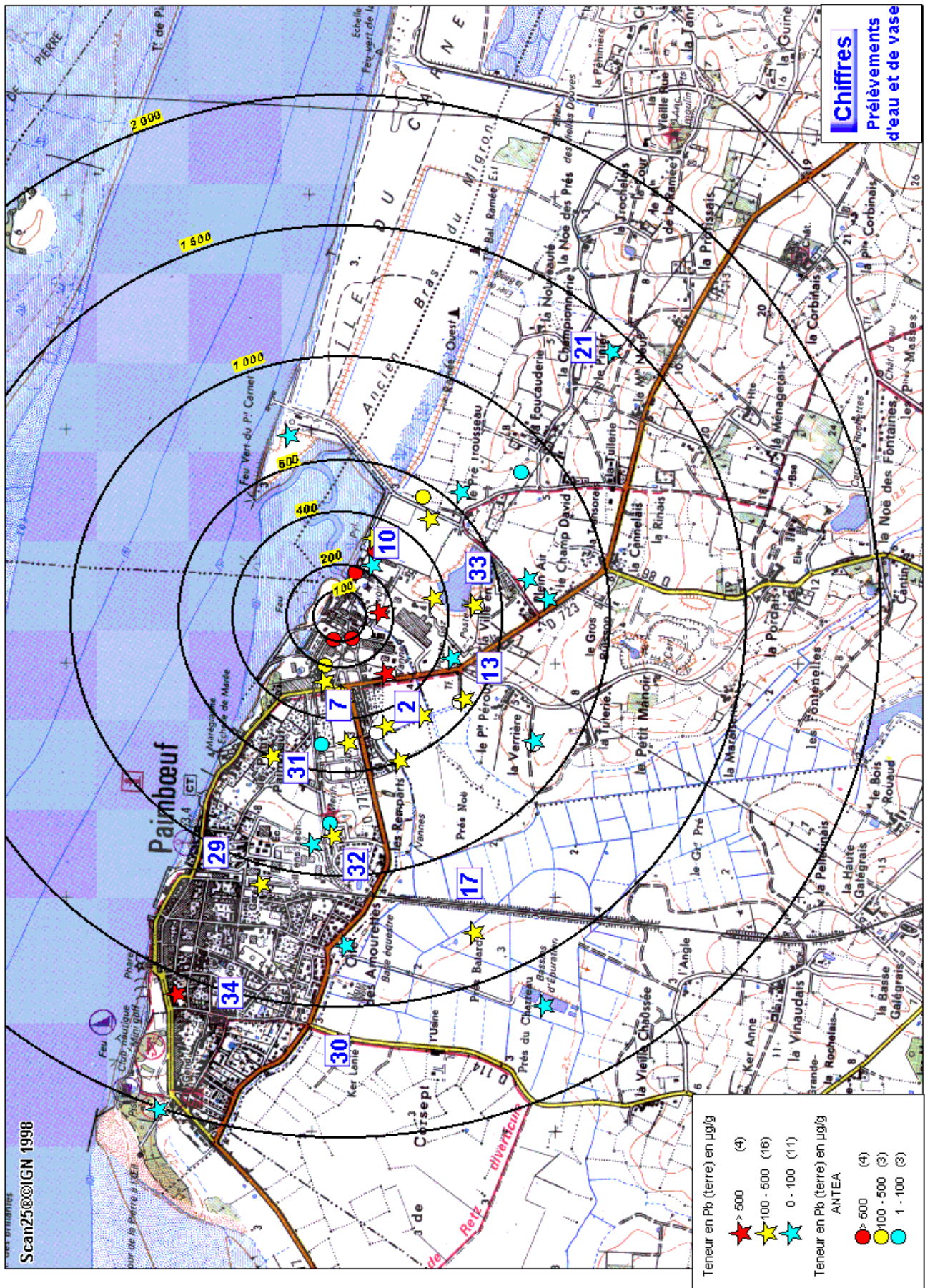
**Tableau N° 18 Tableau récapitulatif des échantillons d'eau et de vase.**

Tableau récapitulatif des échantillons d'eau et de vase (INRA) à Paimboeuf												
Numéro du prélèvement	Distance par rapport à l'usine (mètre)	Plomb en mg/Kg Étude INRA 1997	Plomb en µg/l				pH		Plomb en mg/Kg (ppm)		Matières en suspension mg/l	Nature du site
			Eau Filtrée	Eau Brute	Eau+ Boue Filtrée	Eau+ Boue Brute	Eau Filtrée	Eau Brute	Matière Sèche	Vase		
10	350	493	0.3	7.42			8.36	8.25	110		44	Mare de pâture
10	350	493			0.55	806.8	8.47	7.4			7298	Mare de pâture
10	350	493						7.6		157.8	375300	Mare de pâture
7	360	186	3.98	13.6			7.37	7.17			8	Puits
2	520	107.8	10.15	10.05			7.82	7.12			52	Fossé
33	600		0.24	5.44			8.02	7.88			10	Réserve eau
13	640	185.9	0.3	0.56			7.28	7.01			5	Mare puits artésien
13	640	185.9	0.73	4.95			7.55	7.05			58	Mare pour vailles
13	640	185.9			0.33	16.33	7.74	7.06			239	Mare pour vailles
31	665		0.3	4.71			8.1	7.4	125		5	Mare de pâture
31	665				1.83	55.48	7.79	7.1			429	Mare de pâture
32	1065		2.3	0.52			8.25	8.3			5	Puits ménager
29	1130	541.8	2.02	9.25			8.04	7.93			5	Puits ménager
17	1275		1.42	5.61			7.64	7.19			29	Fossé voie ferrée
21	1560	35.9	7.89	11.51			7.54	7.07	16		36	Mare de pâture
21	1560	35.9			10.68	59.07	7.57	6.59			2938	Mare de pâture
21	1560	35.9						6.9		28	629600	Mare de pâture
34	1750		0.2	3.73			8.2	8.14			5	Puits ménager
30	1840	108	8.69	38.03			7.82	7.2			255	Fossé route

<sup>a</sup> CSHP, 1998, Réf. Biblio. n°34.



## Carte N° 6 Localisation des prélèvements d'eau et de vase



Carte N° 6 Prélèvements d'eau et de vase.

### C ) Analyse des végétaux [Carte N°7 et Tableau n°19]

Les végétaux ont été prélevés dans les jardins et les prés situés au voisinage du site de Paimboeuf, les 7 et 8 septembre 1999. Le choix des lieux d'étude s'est fait en fonction de la disponibilité des propriétaires, par tranche géographique concentrique autour de la cheminée de l'usine.

Pour éviter au maximum toute pollution l'herbe a été coupée à quelques centimètres du sol avec des ciseaux.

Tous les légumes présentés dans le tableau N°19 ont été récoltés puis lavés avec l'eau de la ville de Paimboeuf. Pour les betteraves les racines et les feuilles ont été conservées. Les pommes de terre, les tomates, les concombres et les betteraves ont ensuite été épluchés. Les carottes ont été grattées. Les petits pois et les haricots ont été écosés. Les poireaux et les endives ont été préparés comme pour toute préparation culinaire. Les échantillons séchés ont été analysés dans le Laboratoire d'Analyses des Végétaux (LERMAVE) de l'INRA de Bordeaux.

#### 1°) Pour les légumes et/ou les feuilles de ces légumes :

Seul l'échantillon de feuilles de betteraves du jardin N°19 a une teneur en plomb (7,20 mg/Kg) dépassant nettement les chiffres proposés par le CSHP. La limite admise pour les feuilles de légumes est en effet de 5 mg/Kg de poids sec (0,5 mg/Kg de poids frais)<sup>a</sup>.

Les salades (laitues montées) du site N°8, avec 5,11 mg/Kg de poids sec, dépassent légèrement les recommandations. De même que les épinards du jardin N°17; on y trouve une teneur en plomb de 5,22 mg/Kg.

#### 2°) Pour les herbages :

Les teneurs en plomb des herbages sont toutes nettement inférieures à la limite de 45 mg Kg de poids sec (arrêté du 16 mars 1989)<sup>b</sup>.

En conclusion, l'analyse de la teneur en plomb des légumes cultivés dans la ville de Paimboeuf n'apporte que peu d'arguments en faveur d'une contamination importante des sols.

### D ) Analyse des terres des jardins où les prélèvements ont été effectués

Dans cinq jardins la teneur en plomb a été recherchée et le pH déterminé (Tableau N°20).

**Tableau N° 19 Analyse des terres des jardins.**

N° de l'échantillon	Profondeur du prélèvement	PH	Plomb en mg/Kg
1	0 à 20 cm	6,3	95,6
2	0 à 20 cm	7,3	164,0
10	0 à 20 cm	7,7	44,9
10	20 à 40 cm	7,8	47,2
12	0 à 20 cm	8,2	55,5
16	0 à 20 cm	7,4	74,0

A l'exception de l'échantillon de la terre du jardin N°1 où le pH est de 6,3, les échantillons de terre prélevés dans les autres jardins ont un pH supérieur à 7.

La terre prélevée dans le jardin N°2 a une teneur en plomb de 164 mg/Kg, donc supérieure à la norme sol qui est, rappelons le, de 100 mg/Kg. On note cependant que les végétaux récoltés dans ce jardin ont des teneurs en plomb faibles, inférieures à 0,9 mg/Kg de poids sec. Ceci s'explique par la faible biodisponibilité du plomb surtout avec un pH de 7.3.

<sup>a</sup> CSHP, 1996, Réf. Biblio. n°33.

<sup>b</sup> Prost P, 2000, Réf. Biblio. n°137.

## E ) En conclusion

Les eaux en équilibre avec les sédiments accumulés au fond des mares satisfont presque toutes aux normes de potabilité. Les légumes analysés ne dépassent que très rarement les recommandations en vigueur. Parce que les teneurs en plomb sont faibles, il est difficile, d'établir a priori une relation entre la présence de ces éléments et un risque d'intoxication humaine.

Tableau N° 20 Prélèvements végétaux.

N° Jardin	Prélèvements végétaux des 7 et 8 septembre 1999			
	Espèces	Variétés	Organe	Plomb en mg/Kg de poids sec
1	Salade	Scarole		0.59
	Carottes		Racines	0.57
	Carottes		Feuilles	1.27
	Petit pois		Grains	0.26
2	Salade	Batavia montée		0.85
	Haricots		Grains	0.10
	Pommes de terre		Tubercules	0.07
3	Betteraves		Racines	0.60
	Betteraves		Feuilles	5.22
	Haricots		Grains	0.18
	Concombres			0.65
	Pommes de terre		Tubercules	0.20
4	Salade	Scarole		2.52
	Carottes		Racines	1.13
	Carottes		Feuilles	2.42
5	Salade	Scarole et Frisée		1.18
	Haricots		Grains	0.10
	Pommes de terre		Tubercules	0.16
6	Herbes			10.34
7	Salade	Laitues Montées		1.03
	Betteraves		Racines	1.13
	Betteraves		Feuilles	1.25
	Petit pois		Grains	0.37
	Tomates épluchées			0.19
	Tomates non épluchées			0.99
8	Salade	Laitues Montées		5.11
	Haricots		Grains	0.16
	Pommes de terre		Tubercules	0.16
9	Haricots		Grains	0.32
	Courgettes			0.40
	Tomates épluchées			0.24
10	Betteraves		Racines	0.37
	Haricots	Beurre Verts		0.67
	Courgettes			0.19
	Pommes de terre		Tubercules	0.17
11	Betteraves		Racines	0.54
	Betteraves		Feuilles	0.86
	Courgettes			1.63
	Tomates épluchées			0.43
	Concombres			0.55
12	Poireaux			2.90
	Endives		Racines	0.23
	Endives		Feuilles	1.21
	Haricots		Grains	0.11
	Tomates épluchées			0.20
13	Salade	Batavia montée		0.59
	Haricots		Grains	0.20
	Pommes de terre		Tubercules	0.12
14	Haricots		Grains	0.17
	Pommes de terre		Tubercules	0.11
15	Salade	Laitues		1.56
	Haricots		Grains	0.18
	Pommes de terre		Tubercules	0.14
16	Salade	Scarole		0.89
	Haricots		Grains	0.17
	Pommes de terre		Tubercules	0.13
17	Epinards			5.22
18	Salade	montée		1.06
	Haricots		Grains	0.06
	Pommes de terre		Tubercules	0.09
19	Betteraves		Racines	0.48
	Betteraves		Feuilles	7.20
	Haricots		Grains	0.06
20	Herbes			6.92
21	Haricots		Grains	0.15
	Tomates épluchées			0.25

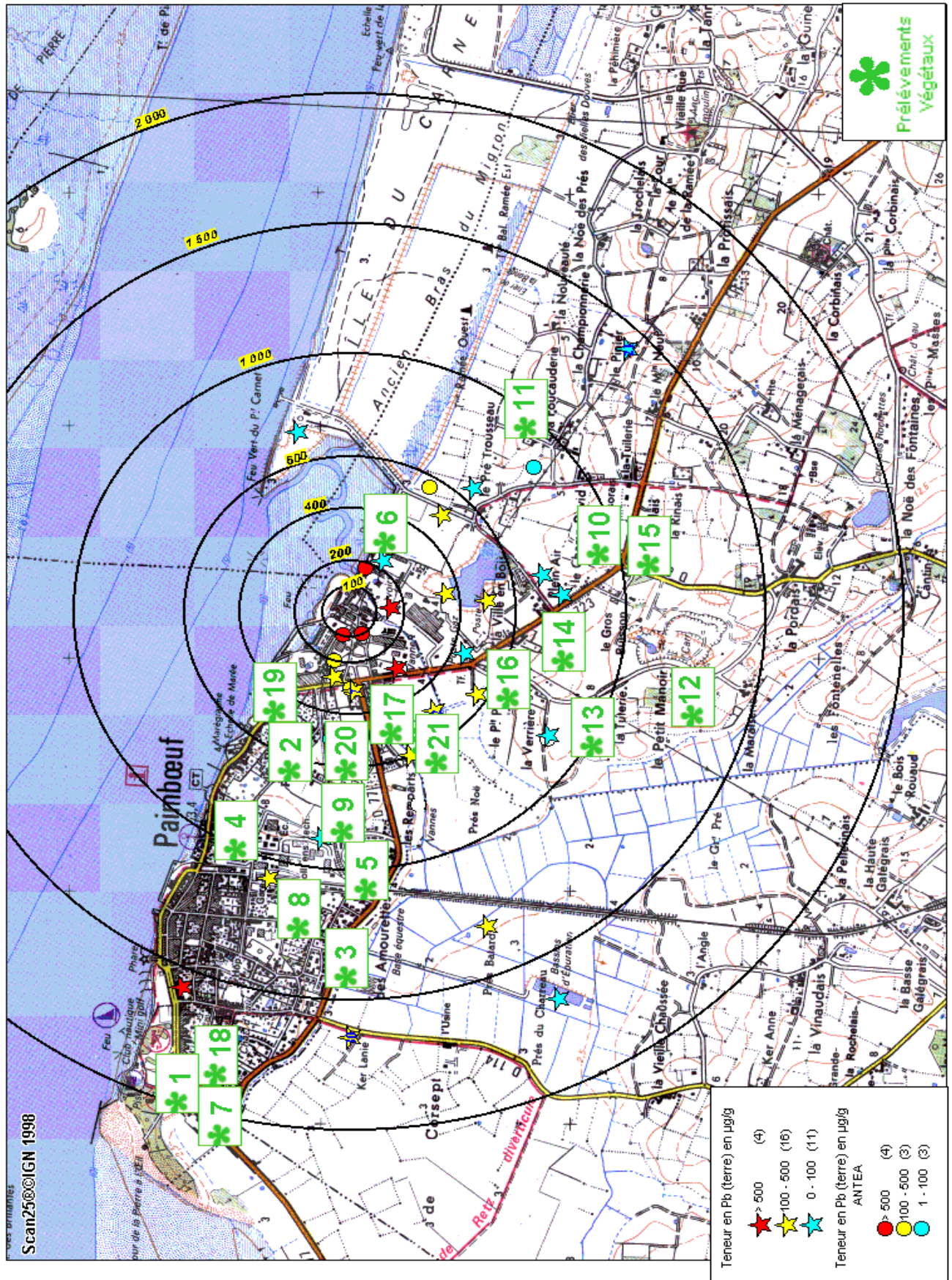
Carte N° 7 Localisations des prélèvements de végétaux et de terre.



Localisation des prélèvements de végétaux et de terre

Carte N°7

Carte N°7 Localisation des prélèvements de végétaux et de terre



## Analyse Métrologique

### I ] Analyse générale

Les chapitres précédents nous ont montré que les voies d'exposition majeures au plomb sont les voies aériennes et digestives.

La contamination peut donc résulter d'une pollution aérienne stricte, par inhalation pulmonaire de plomb contenu dans les effluents aériens émis par une installation polluante. Elle peut aussi provenir d'une inhalation de poussières contenant du plomb, remises temporairement en suspension dans l'air.

L'absorption de plomb par les voies digestives peut être due à une ingestion directe de poussières. Mais elle peut être due également à une alimentation constituée de nutriments contenant de fortes quantités de plomb.

Les enfants, du fait de leurs comportements (jeux à même le sol, contacts mains-bouche fréquents...) sont particulièrement sujets à une exposition par absorption de poussières, soit à l'extérieur, notamment au niveau des terrains de jeux, soit à l'intérieur des bâtiments (écoles, cantines, habitation principale...).

Il ne faut pas oublier les deux autres volets classiques de l'intoxication saturnine : l'utilisation d'eau de boisson chargée en plomb et la présence de peinture au plomb dans l'habitat.

#### A ) Exposition résultant de la pollution des eaux de boisson

Un entretien réalisé auprès de Mr Alcime Le Guennic du service santé environnement de la DDASS de Loire-Atlantique nous confirme l'absence de plomb dans l'eau distribuée à la ville de Paimboeuf. Les valeurs sont inférieures au seuil de détection, c'est à dire 0,002 mg/l, donc au dessous à la norme actuelle qui est de 0,05 mg/l.

Il était cependant encore nécessaire de déterminer l'existence ou non de canalisations en plomb dans la ville de Paimboeuf. Ces canalisations sont un facteur de contamination, en aval du système de distribution publique de l'eau.

Pour analyser ce problème nous avons fait appel à la Générale des Eaux, concessionnaire de la distribution de l'eau à Paimboeuf. L'enquête faite auprès des ingénieurs et des commerciaux de cette compagnie nous a appris, qu'à leur connaissance, le réseau public ou privé de la ville était maintenant en fonte ou en PVC. Ils ne peuvent toutefois pas garantir la non existence de quelques canalisations résiduelles en plomb.

Si l'on fait abstraction des points d'eau privés à usage domestique, dont l'importance serait faible<sup>a</sup> mais qu'il est difficile de quantifier, la part de plomb ingérée du fait de l'eau de boisson peut être actuellement considérée comme insignifiante.

#### B ) Exposition résultant de l'habitat

Lors de la campagne de dépistage du saturnisme infantile en Loire-Atlantique (1995-1997)<sup>b</sup> sur les 1224 logements de la ville de Paimboeuf seuls 13 avaient été retenus comme pouvant être susceptibles de contenir des peintures dangereuses. Et sur les huit qui ont pu être visités, seuls quatre pouvaient être potentiellement dangereux.

Au vu de ces résultats l'habitat n'est certainement pas à Paimboeuf une source importante d'exposition au plomb.

#### C ) Exposition résultant de la pollution directe de l'air

Depuis les années 1993 les mesures de tous les capteurs de plomb dans l'atmosphère sont en dessous de 0,5 µg/m<sup>3</sup>. Les flux moyens d'émission de plomb pour l'année sont passés de 70,30 Kg/j en 1986 à 31,60 Kg/j en 1993.

<sup>a</sup> Information de la compagnie Générale des Eaux.

<sup>b</sup> DRASS des Pays de la Loire, 1995-1997, Réf. Biblio. n°56.

En décembre 1996 l'usine a cessé toute production, et donc toute émission d'effluents aériens. La part du plomb inhalé via cette voie d'exposition peut actuellement être considérée comme nulle.

## II ] Exposition résultant de la pollution des sols

### A ) Etat des lieux

Les mesures environnementales disponibles ont mis en évidence une faible pollution des sols [Tableau 15].

Nous avons vu qu'au-delà de **660 m**, les résultats sont pratiquement tous inférieurs à **100 mg/Kg**.

Par ailleurs tous les prélèvements extérieurs à l'usine, donc **au-delà de 350 m**, sont inférieurs à **500 mg/Kg**, même quasiment tous inférieurs à **300 mg/Kg**.

### B ) Concentration en plomb acceptable dans les sols

La Society for Environmental Geochemistry and Health<sup>a</sup> propose une approche empirique pour déterminer des critères de pollution des sols. Pour ces auteurs la concentration en plomb acceptable dans un sol peut être résumée dans un tableau dont nous donnons un extrait [Tableau N°21]. Les valeurs de plomb maxima dans les sols sont données en fonction de la plombémie cible à ne pas dépasser et de la proportion de la population que l'on entend protéger.

**Tableau N° 21 Concentration en plomb acceptable dans les sols.**

Concentration en plomb acceptable dans les sols, en fonction du degré de protection et de la plombémie maximale souhaitée			
Plombémie à ne pas dépasser en µg/l	Concentration acceptable dans les sols en mg/Kg (ppm)		
100 µg/l	880 mg/Kg	500 mg/Kg	300 mg/Kg
150 µg/l	2300 mg/Kg	1860 mg/Kg	1400 mg/Kg
200 µg/l	3750 mg/Kg	3000 mg/Kg	2600 mg/Kg
Pourcentage de la population à protéger	95%	98%	99%

Si l'on se réfère à ces recommandations, nous remarquons qu'en dehors du périmètre de l'usine, au-delà de 350 m par rapport à la cheminée, 99 % de la population ne dépassera pas 100 µg/l.

Par ailleurs aucun des prélèvements ne dépassant 880 mg/Kg, 95 % de la population de Paimboeuf ne dépassera pas 100 µg/l.

## III ] Exposition résultant d'une pollution éventuelle de la chaîne alimentaire

A l'exception d'un échantillon de feuille de betteraves, l'analyse des légumes provenant des jardins situés dans un rayon allant jusqu'à 2000 m de l'usine n'a pas montré de teneurs en plomb supérieures aux recommandations du CSHP.

On peut ainsi considérer qu'un surcroît d'exposition alimentaire résultant de cette consommation des légumes du jardin semble peu probable.

Toutefois même à faible dose le plomb habituellement présent dans l'alimentation doit être comptabilisé. Différentes études ont été menées afin de quantifier cet apport alimentaire moyen.

Une enquête française, "La diagonale des métaux", réalisée sous la responsabilité du Ministère chargé de la santé en 1992, a permis d'estimer l'apport en plomb lié à la consommation d'un repas "moyen" à **24 µg** chez les adultes<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Wixson et Davies, 1994, Réf. Biblio. n°156.

<sup>b</sup> DGS, 1995, Réf. Biblio. n°55.



Par ailleurs, une enquête alimentaire de l'INSERM<sup>a</sup> menée sur un échantillon représentatif du département du Val-de-Marne donne les résultats du tableau N°22. Ces chiffres correspondent à un régime alimentaire moyen, à différents âges de la vie. D'après les auteurs ces valeurs seraient une assez bonne représentation du régime alimentaire français moyen et en tout état de cause meilleures pour la France que les chiffres préconisés par l'EPA. Ne possédant pas de chiffres spécifiques pour Paimboeuf, nous considérerons que l'ingestion de plomb dans les aliments y est identique à celle du Val-de-Marne. Notons que par rapport à l'enquête de "La diagonale des métaux" nous surestimerons légèrement les apports.

**Tableau N° 22 Ingestion de plomb dans les aliments solides.**

Age en années	Ingestion de plomb dans les aliments solides µg/j
0,5	6 à 10
2	30
2 à 5	35
6 à 10	40
11 à 14	45
15 à 18	50
Adulte	50

#### **IV ] Calcul de la concentration maximale tolérable dans les sols en tenant compte des autres facteurs d'exposition**

##### **A ) La notion de Dose Journalière Admissible (DJA)**

Le Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives<sup>b</sup>, comité mixte d'experts OMS/FAO sur les additifs alimentaires (JECFA) propose des Doses Journalières Admissibles (DJA) d'absorption de nombreuses substances, proportionnelles à la masse corporelle.

Pour le plomb le JECFA a estimé la DJA à 3,5 µg/Kg (3,5 10<sup>-3</sup> mg/Kg de poids corporel).

##### **B ) La notion d'Apport Journalier Admissible (AJA)**

Pour un toxique donné, l'Apport Journalier Admissible (AJA) pour un individu est égal à la Dose Journalière Admissible (DJA), multipliée par son poids.

$$\mathbf{AJA = DJA \times POIDS (1)}$$

- ✓ AJA: apport journalier total ingéré en mg/j.
- ✓ DJA: dose journalière admissible en mg/kg/j.)
- ✓ POIDS: poids en Kg

Par ailleurs la prise en compte des différentes sources d'exposition permet d'estimer l'AJA.

Avec :

- ✓ SOL: part du plomb apporté par le sol en mg/j.
- ✓ AIR: part du métal absorbé par inhalation, négligeable à Paimboeuf depuis l'arrêt de la production.
- ✓ ALI: part du métal apporté par l'alimentation en mg/jour.

On a :

$$\mathbf{AJA = SOL + AIR + ALI (2)}$$

De (1) et (2) on a :

$$\mathbf{DJA \times POIDS = SOL + AIR + ALI (3)}$$

<sup>a</sup> INSERM, Expertise Collective, 1999,, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> JECFA, 1999, Réf. Biblio. n°99.

## C ) Estimation des différentes sources d'exposition

### 1°) Estimation de la valeur "AIR" :

A Paimboeuf du fait de l'arrêt de la production, la valeur "AIR" peut être considérée comme négligeable et donc seule l'exposition au plomb via les sols (exposition directe "main-bouche" et indirecte par les poussières) et via l'apport alimentaire doit être prise en compte.

### 2°) Estimation de la valeur "SOL" :

- a ) Il est possible de calculer la part du plomb apporté par le sol en fonction de la quantité de "sol" ingérée (par les enfants) par jour et de la concentration de plomb dans ce sol :

$$\text{SOL} = \text{QSI} \times \text{CONS} \quad (4)$$

- ✓ QSI = quantité de "sol" ingérée en mg/j.
- ✓ CONS = concentration du plomb dans le "sol" en mg/Kg.

- b ) Estimation de la quantité "QSI" :

Plusieurs études<sup>a</sup> ont montré que les enfants et les adultes dans une moindre mesure, ingéraient quotidiennement et de façon normale des quantités non négligeables de poussières de sol. Mais d'une étude à l'autre, la variation de l'estimation des quantités ainsi absorbées est importante.

Pour protéger 95 % des enfants, l'Environmental Protection Agency (EPA)<sup>b</sup> préconise d'utiliser dans les modèles d'exposition une quantité de poussières ingérées de 100 mg par jour (hors phénomène de pica).

Ces valeurs sont jugées beaucoup trop prudentes par divers auteurs. S'appuyant sur des études réalisées en Australie ou en Grande-Bretagne (Baltrop et coll., 1975; Heyworth et coll., 1981), chez des enfants résidant dans des logements construits sur des sols à teneur en plomb très variables, De Silva (1994)<sup>c</sup> estime que la valeur moyenne de l'ingestion de poussières du sol est plutôt de **4 mg/j**. Selon l'auteur, cette estimation est la plus compatible avec la corrélation trouvée entre les écarts de plomb dans les sols (de 420 à 13 969 ppm) et les différences de plombémie chez les enfants (de 207 à 290 µg/l en moyenne) pour une biodisponibilité jugée voisine de 40 à 50 %.

Nous ferons ici trois estimations avec des valeurs de "QSI" de 4 mg/j, de 100 mg/j, puis de 200 mg/j. Bien que cette dernière valeur nous semble très excessive, nous en avons envisagé la prise en compte car elle est utilisée par certaines études<sup>d</sup> comme une valeur de sécurité.

### 3°) Estimation de la valeur "ALI" :

Au chapitre précédent nous avons déjà abordé le problème de l'apport alimentaire de plomb. Pour le choix des valeurs de la variable "ALI" nous nous référons au tableau N°22 (30 µg/j à 2 ans; 40 µg/j à 6 ans)<sup>e</sup>.

## D ) Calcul de la concentration dans les sols (CONS)

La concentration maximale tolérable dans le sol pour ne pas dépasser la AJA peut être calculée de la manière suivante:

$$\text{De (3) et (4) on a : } \text{DJA} \times \text{POIDS} = (\text{QSI} \times \text{CONS}) + \text{AIR} + \text{ALI} \quad (5)$$

Avec "AIR" négligeable de (5) on a :

$$(\text{DJA} \times \text{POIDS}) - \text{ALI} = \text{QSI} \times \text{CONS} \quad (6)$$

$$\text{CONS} = [(\text{DJA} \times \text{POIDS}) - \text{ALI}] / \text{QSI} \quad (7)$$

<sup>a</sup> CIRE Rhône-Alpes-Auvergne, 1999, Réf. Biblio. n°23 et InVS, 1999, Réf. Biblio. n°96.

<sup>b</sup> EPA, 1996, Réf. Biblio. n°64.

<sup>c</sup> De Silva PE, 1994, Réf. Biblio. n°52.

<sup>d</sup> Etudes sur l'usine "TPC", 1999, Réf. Biblio. n°19, 38, 73, 96 et 139.

<sup>e</sup> INSERM, Expertise Collective, 1999,, Réf. Biblio. n°95.

Rappelons les valeurs définies :

- QSI = 4 mg/j, 100 mg/j, puis 200 mg/j.
- DJA = 3,5 µg/Kg ( $3,5 \cdot 10^{-3}$  mg/Kg).
- ALI = 30 µg/j ( $30 \cdot 10^{-3}$  mg/j) à 2 ans.
- ALI = 40 µg/j ( $40 \cdot 10^{-3}$  mg/j) à 6 ans.
- POIDS = 13,6 Kg à 2 ans.
- POIDS = 25 Kg à 6 ans.

Le tableau N°23 nous montre les résultats de ce calcul pour ces différentes combinaisons de valeurs.

**Tableau N° 23 Concentration Maximale Tolérable dans les sols en fonction de QSI.**

ITEM	Age en Année	Poids en Kg	Dose Journalière Admissible en µg/Kg	Quantité de "Sol" Ingérée en mg/j	Apport Journalier Alimentaire en µg/j	Concentration Maximale Tolérable dans les sols en mg/Kg
<i>Abréviation</i>		<i>POIDS</i>	<i>DJA</i>	<i>QSI</i>	<i>ALI</i>	<i>CONS</i>
	2	13,6	3,5	4	30	<b>4400</b>
	6	25	3,5	4	40	<b>11875</b>
	2	13,6	3,5	100	30	<b>176</b>
	6	25	3,5	100	40	<b>475</b>
	2	13,6	3,5	200	30	<b>88</b>
	6	25	3,5	200	40	<b>237,5</b>

## E ) Analyse

Dans une hypothèse minimaliste où l'on estime la Quantité de Sol Ingérée à 4 mg/j les valeurs maxima tolérables dans les sols sont, dans le pire des cas, de 4400 mg/Kg; or dans le cadre de l'étude sur Paimboeuf tous les prélèvements sont inférieurs à cette valeur.

Dans une hypothèse médiane où l'on estime que la quantité de sol ingérée est de 100 mg/j, la valeur maximum tolérable dans les sols pour ne pas dépasser la DJA d'un enfant de 2 ans est de 176 mg/Kg. Dans un rayon de 660 m autour de l'usine cette valeur est plusieurs fois dépassée. Toutefois au-delà de cette distance, dans la zone où se situent les groupes scolaires la mesure maximum observée est de 108 mg/Kg, exception faite des deux cas particuliers des sites N°29 et N°3 dont nous avons déjà parlé et de la gare SNCF (N°12) dont la mesure ressort à 183,8 mg/Kg.

Par contre dans une hypothèse maximaliste avec une valeur de sol ingérée de 200 mg/j la valeur maximum de 88 mg/Kg est dépassée dans plus de 50 % des cas.

## F ) Critique de la méthode

Cette méthode de calcul, avec QSI au dénominateur est très sensible à de petites variations, or c'est ce paramètre qui est justement, à ce jour, la plus difficile à déterminer. Par exemple en multipliant par vingt-cinq la Quantité de Sol Ingérée (de 4 mg/j à 100 mg/j) nous divisons par vingt-cinq la concentration tolérable.

## V J Estimation de la plombémie à l'aide du modèle IEUBK<sup>a</sup>

### A ) Le modèle IEUBK

L'Environmental Protection Agency (EPA, USA) a développé depuis de nombreuses années une modélisation de l'évolution des plombémies infantiles en fonction des différents risques d'exposition. Cette modélisation a été informatisée sous le nom de IEUBK (Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children).

Le modèle est basé sur un ensemble d'équations qui calculent les plombémies en simulant les processus physiologiques régulant les transferts du plomb entre les différents compartiments de l'organisme.

Cet outil permet donc une modélisation de l'exposition chronique des enfants vivant dans les zones où les niveaux de contamination par le plomb sont connus. Il estime additivement et année par année, les plombémies potentielles en fonction de multiples paramètres :

- 1°) Des valeurs de la concentration du plomb dans l'air :
  - A l'extérieur de l'habitation nous utiliserons la valeur de  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette valeur sera constante pour les sept années de la simulation. Elle a été retenue comme étant une valeur représentative d'une très petite bourgade comme Paimboeuf. En 1999, la moyenne des grandes villes Française était voisine de  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
  - A l'intérieur de l'habitation, la concentration intérieure sera estimée à 30 % de la valeur externe (valeur EPA).
- 2°) Du temps passé par l'enfant à l'extérieur de l'habitat :
  - Les valeurs EPA seront gardées, soit une heure par jour la première année, deux la deuxième, trois la troisième, quatre jusqu'à la fin des sept ans.
- 3°) De la ventilation pulmonaire :
  - Le volume d'air inhalé en mètre cube par jour variera en fonction des années (2 m<sup>3</sup>/j, puis 3, 5, 5, 5, 7, 7)<sup>b</sup>.
- 4°) De la valeur de l'absorption pulmonaire du plomb :
  - Elle sera fixée ici à 32 % (valeurs conseillées par l'EPA)<sup>c</sup>.
- 5°) Des apports digestifs en fonction de plusieurs paramètres :
  - De la concentration en plomb dans les aliments : les valeurs retenues sont celles du tableau N°22. Elles s'étalent de  $6 \mu\text{g}/\text{j}$  à 0,5 ans à  $40 \mu\text{g}/\text{j}$  à 7 ans (valeurs INSERM)<sup>d</sup>.
  - De la biodisponibilité du plomb contenu dans ces aliments. Les valeurs par défaut (EPA) seront gardées, soit une biodisponibilité variant de 30 à 50 % en fonction de l'aliment.
- 6°) Des apports dus à l'eau de boisson :
  - En fonction des résultats précédemment exposés la valeur du plomb dans l'eau de boisson sera estimée à  $2 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $0.002 \text{ mg}/\text{l}$ ).
- 7°) De la concentration du plomb dans les sols et poussières :
  - Différentes valeurs seront testées en fonction des résultats obtenus sur les sites de Paimboeuf (100 mg/Kg, 300 mg/Kg et 500 mg/Kg).
- 8°) De la quantité estimée de sol et de poussières ingérées par l'enfant et du pourcentage absorbé (fraction saturable et insaturable) :
  - Différentes valeurs seront testées en fonction des différentes hypothèses retenues concernant la quantité de sol ingérée (4 mg/j et 100 mg/j). En ce qui concerne la valeur de 100mg/j de sol ingéré, les valeurs ont été plus finement adaptées par l'EPA en fonction de l'âge; elles sont donc par ordre croissant d'âge de 85mg/j, 135mg/j, 135mg/j, 135mg/j, 100mg/j, 90mg/j et 85mg/j.

<sup>a</sup> IEUBK, Réf. Biblio. n°63, 82 et 157.

<sup>b</sup> Valeurs conseillées par l'EPA, Réf. Biblio. n°63.

<sup>c</sup> EPA, Réf. Biblio. n°63.

<sup>d</sup> INSERM, Expertise Collective, 1999,, Réf. Biblio. n°95.

9°) De l'éventuelle présence de plomb à la naissance, en fonction de la plombémie maternelle :

- La valeur de 52,4 µg/l, qui est la moyenne des plombémies brutes de la région des Pays de la Loire, a été choisie. (Etude INSERM de décembre 1997)<sup>a</sup>.

## B ) Les résultats

1°) Pour une Quantité de Sol Ingérée de 4 mg/j (tableau 24 et 25) :

Pour les valeurs de 100 mg/Kg, 300 mg/Kg et 500 mg/Kg de plomb dans les sols les plombémies calculées sont les suivantes :

**Tableau N° 24 Plombémies Calculées pour une Quantité de Sol Ingérée de 4 mg/j.**

Age	Plombémies Calculées en µg/l		
	Pour une valeur SOL de 100 mg/Kg	Pour une valeur SOL de 300 mg/Kg	Pour une valeur SOL de 500 mg/Kg
0.5 à 1	18	19	20
1 à 2	22	23	24
2 à 3	46	46	47
3 à 4	52	53	54
4 à 5	54	54	55
5 à 6	54	54	55
6 à 7	53	53	54

La courbe de densité de probabilité nous donne pour chaque valeur "sol" les résultats suivants :

**Tableau N° 25 Moyennes et pourcentages en fonction des valeurs sol en plomb.**

	100 mg/Kg	300 mg/Kg	500 mg/Kg
<i>Moyenne géométrique toutes classes d'âge confondues</i>	43 µg/l	44 µg/l	45 µg/l
<i>Pourcentage au-dessous de 100 µg/l</i>	96,55 %	96,33 %	95,85 %
<i>Pourcentage au-dessus de 100 µg/l</i>	3,45 %	3,67 %	4,15 %
<i>Valeur maximum</i>	162,5 µg/l	169 µg/l	172 µg/l

2°) Pour une Quantité de Sol Ingérée de 100 mg/j (tableau 26 et 27) :

Pour les valeurs de 100 mg/Kg, 300 mg/Kg et 500 mg/Kg de plomb dans les sols les plombémies calculées sont les suivantes :

**Tableau N° 26 Plombémies Calculées pour une Quantité de Sol Ingérée de 100 mg/j.**

Age	Plombémies Calculées en µg/l		
	Pour une valeur SOL de 100 mg/Kg	Pour une valeur SOL de 300 mg/Kg	Pour une valeur SOL de 500 mg/Kg
0.5 à 1	30	52	73
1 à 2	36	63	86
2 à 3	57	80	100
3 à 4	63	84	104
4 à 5	62	79	95
5 à 6	61	74	87
6 à 7	59	70	82

<sup>a</sup> Huel G., 1997, Réf. Biblio. n°91.

La courbe de densité de probabilité nous donne pour chaque valeur "sol" les résultats suivants :

**Tableau N° 27 Moyennes et pourcentages en fonction des valeurs sol en plomb.**

	100 mg/Kg	300 mg/Kg	500 mg/Kg
<i>Moyenne géométrique toutes classes d'âge confondues</i>	45 µg/l	72 µg/l	89 µg/l
<i>Pourcentage au-dessous de 100 µg/l</i>	91,75 %	77,61 %	61,84 %
<i>Pourcentage au-dessus de 100 µg/l</i>	8,25 %	22,39 %	38,16 %
<i>Valeur maximum</i>	200,5 µg/l	275 µg/l	340 µg/l

## C ) Analyse

Pour simplifier l'analyse envisageons uniquement l'hypothèse où les teneurs en plomb dans les sols sont au maximum de 300 mg/Kg, ce qui est d'ailleurs largement le cas ici. Rappelons qu'au-delà d'un cercle de 350 m par rapport à l'usine les valeurs maxima sont de 249 mg/Kg, exception faite des deux points N°29 et N°3 que nous avons déjà évoqués.

1°) Pour une Quantité de Sol Ingérée de 4 mg/j :

La modélisation propose une plombémie moyenne de 44 µg/l, et on a 96,33 % des enfants au-dessous de 100 µg/l. Pour les 171 enfants particulièrement exposés, six risquent de dépasser cette valeur. Un seul est susceptible de dépasser 141 µg/l.

2°) Pour une Quantité de Sol Ingérée de 100 mg/j :

La modélisation calcule une plombémie moyenne de 72 µg/l, et on a 77,61 % des enfants au-dessous de 100 µg/l. Pour ces même 171 enfants, trente-huit pourraient dépasser cette valeur. Un seul risque de dépasser 230 µg/l.

## D ) Critique de la méthode

Les différentes équations sous-jacentes à IEUBK sont bien entendu disponibles et analysables, mais cela nous amènerait hors du cadre de cette étude. Signalons simplement que l'utilisation du logiciel en tant que modèle n'a rien d'une "boîte noire" mystérieuse et incompréhensible pour l'utilisateur<sup>a</sup>.

Tout comme la précédente analyse, cette méthode de calcul dépend beaucoup de la Quantité de Sol Ingérée; elle en a donc les même aléas. En augmentant la dose de sol ingérée de 4 mg/j à 100 mg/j on augmente de trente-deux le nombre d'enfants risquant de dépasser 100 µg/l.

D'autres paramètres influent également sur les résultats; citons le temps passé par l'enfant à l'extérieur, l'absorption digestive du plomb, la quantité de nutriment absorbé etc...

<sup>a</sup> EPA, Guidance Manual for IEUBK, Réf. Biblio. n°63.

## Analyse des retours d'expériences<sup>a</sup>

### I ] Le cas de "Métal-Blanc" à Bourg Fidèle (Ardennes)<sup>b</sup>

#### A ) Le contexte

Une fonderie de métaux non ferreux, la société Métal-Blanc, est installée à Bourg Fidèle depuis 1968. (commune des Ardennes; 732 habitants).

La volonté d'extension des activités de cette entreprise et les nuisances déjà existantes (fumées, odeurs, bruit) ont suscité en 1996, une mobilisation des riverains. En juillet 1997 une Commission locale d'information et de surveillance est créée. La DRIRE engage alors la société ANTEA pour effectuer une étude de diagnostic environnemental de l'usine.

En octobre 1997, devant l'inquiétude grandissante de la population, la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) rédige un rapport au Préfet. A la demande du Préfet, le maire prend alors un arrêté conservatoire interdisant la consommation de légumes sur les parcelles environnant l'usine et interdisant l'accès à une aire de jeux pour enfants située à proximité.

La DDASS saisit ensuite le Réseau National de Santé Publique (RNSP), pour réaliser un bilan environnemental et sanitaire.

Le RNPS et la société ANTEA produisent tous deux des rapports, dont nous retiendrons les éléments suivants.

Le plomb est rejeté dans l'air et dans le milieu aquatique. Les sédiments du ruisseau bordant l'usine et le sol dans un rayon de plusieurs centaines de mètres sont contaminés. La population avoisinant l'usine est donc soumise potentiellement à une exposition significative au plomb par inhalation. En ce qui concerne les enfants, l'exposition par ingestion des poussières environnementales à l'extérieur, notamment au niveau des écoles, des terrains de jeux, et à l'intérieur des maisons, est vraisemblable.

La baignade dans le ruisseau de la commune constituerait une voie d'exposition à ne pas négliger.

Certains végétaux autour du site sont également contaminés. L'exposition alimentaire par consommation des légumes du jardin est donc également possible.

Dans ce contexte, le Préfet des Ardennes a décidé la mise en place d'un programme qui devait poursuivre deux objectifs : dépister une imprégnation saturnine excessive des enfants par dosage de plombémie et caractériser la part contributive des différentes sources d'exposition en fonction de certains facteurs comme la distance par rapport à l'usine, les vents, la consommation de légumes du jardin et la fréquentation de l'aire de jeux.

#### B ) Les résultats<sup>c</sup>

- Pour l'air, la moyenne des flux de contamination du site par le plomb, due aux activités de l'usine, a été estimée à **37 g/heure**. Les retombées atmosphériques induites varient autour de **0,42 g/m<sup>2</sup>/an<sup>d</sup>**. La tendance est stable sur les dix dernières années.
- Dans les sols on relève au maximum **1054 mg** de plomb par Kg de terre.
- La **distance** de l'usine par rapport au centre du village est de 550 m et 17 % de la population vit dans un rayon inférieur à 400 m. L'éloignement du lieu d'habitation apparaît être un facteur important de variation de la plombémie puisque entre un enfant habitant à 300 m et un enfant habitant à 800 m la différence de plombémie estimée est de 42 µg/l.
- La distribution des directions et des vitesses de **vent** par rapport à l'usine n'a pas d'influence significative sur la plombémie. Mais les vents sont sans direction dominante et assez bien répartis dans l'espace en force et en intensité.
- Aucun effet de la consommation de **végétaux**, produits à Bourg Fidèle, n'a été observé sur les résultats des plombémies.

<sup>a</sup> Une analyse comparative de ces trois études sera effectuée dans le chapitre suivant.

<sup>b</sup> Etudes sur "Métal-Blanc", 1998-1999, Réf. Biblio. n°39, 40, 73, 112 et 113.

<sup>c</sup> Fabres B., 1999, Réf. Biblio. n°73.

<sup>d</sup> L'étude ne précise pas la zone géographique soumise à ces retombées quantifiées.

- Les chiffres des plombémies infantiles dans la tranche d'âge de 1 à 6 ans sont les suivants :
  - ✓ Taux de plombémies supérieur ou égal à 100 µg/l : **31 %**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies : **73,0 µg/l**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies en Champagne-Ardenne : **36,5 µg/l**.
  - ✓ Plombémies maximales : **265 µg/l**
- Les facteurs de risque identifiés sont l'âge, l'exposition professionnelle des parents et la distance par rapport à l'usine.

## II ] **Le cas d'Arnas à Villefranche-sur-Saône (Rhône)<sup>a</sup>**

### A ) Le contexte

Depuis 1974, la société Metaleurop exploite une fonderie de deuxième fusion du plomb sur le territoire de la commune d'Arnas, au nord de Villefranche-sur-Saône. L'activité annuelle est de 4 millions de batteries, soit une production de plomb de 50 000 tonnes par an.

En application de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, cet établissement bénéficie d'une autorisation préfectorale.

Entre mars et mai 1999, certains faits ont conduit à suspecter ce site industriel de contribuer à l'exposition au plomb des populations voisines.

Ces éléments déclencheurs ont été d'une part les plombémies élevées de deux adultes vivant à proximité de l'usine et d'autre part les résultats d'enquêtes environnementales ponctuelles réalisées par la DDASS en mars/avril 1999. L'analyse fine des résultats de l'autocontrôle imposé à la société Metaleurop montrait par ailleurs que les sols et les végétaux présentaient des teneurs élevées en plomb, dans un périmètre de plusieurs centaines de mètres autour du site industriel.

Dans un contexte médiatique brûlant, le Préfet du Rhône a décidé le 4 mai 1999 de mettre en place un programme de dépistage d'une imprégnation saturnine des enfants, et de lancer une étude environnementale autour du site industriel de Metaleurop (modélisation du panache de fumée, analyses de sols et de végétaux).

### B ) Les résultats<sup>b</sup>

- Pour l'air, la moyenne des flux de contamination du site par le plomb, due aux activités de l'usine, a été estimée à **122 g/heure**. Les retombées atmosphériques induites varient autour de **0,47 g/m<sup>2</sup>/an<sup>c</sup>**. La tendance est stable sur les dix dernières années.
- Dans les sols on relève au maximum **586 mg** de plomb par Kg de terre.
- Les maisons d'habitation les plus proches sont situées à 250 m de l'usine; 4 % de la population vit dans un rayon inférieur à 400 m. Dans un rayon de 1000 m, on trouve : à l'Est une zone maraîchère, une coopérative laitière et diverses autres entreprises; au Sud et à l'Ouest une zone urbanisée et des entreprises artisanales; au Nord et Nord-Ouest, la densité de l'habitat est moindre. L'étude relève que l'augmentation de la plombémie lorsque l'on se rapproche du site existe mais reste faible. On a une **augmentation** de la plombémie de 9,5 µg/l en passant de 900 m à 400 m.
- La distribution des directions et des vitesses de **vent** par rapport à l'usine a une influence faible mais non négligeable sur la plombémie. La plombémie moyenne ajustée augmente de **12,5 µg/l** quand on passe d'une situation au vent à une situation sous le vent dominant.
- Environ 31 % des enfants consommeraient des produits potagers de la zone des 1000 m.
- Les chiffres des plombémies infantiles dans la tranche d'âge de 1 à 6 ans sont les suivants :
  - ✓ Taux de plombémies supérieurs ou égaux à 100 µg/l : **5 %**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies : **43,0 µg/l**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies en Rhône-Alpes : **35,7 µg/l**.
  - ✓ Plombémies maximales : **150 µg/l**
- Les facteurs de risque identifiés sont l'âge, l'exposition professionnelle des parents, la distance par rapport à l'usine et la situation sous le vent.

<sup>a</sup> Etudes sur "Metaleurop Arnas", 1999, Réf. Biblio. n°42, 43, 44, 61 et 73.

<sup>b</sup> Fabres B., 1999, Réf. Biblio. n°73.

<sup>c</sup> L'étude ne précise pas la zone géographique soumise à ces retombées quantifiées.



### III ] Le cas de l'usine T.P.C. à Seurre (Bourgogne)<sup>a</sup>

#### A ) Le contexte

L'usine de la société T.P.C., installée à Seurre en Côte d'Or fabrique des composants électroniques. Dans la technique de fabrication de ces circuits elle utilise entre autres du plomb. Cet établissement, déclaré depuis 1964 en préfecture, relève de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement.

Lors de la vente de cette entreprise par la société propriétaire THOMSON CSF à la société AVX CORPORATION un audit de diagnostic environnemental a été engagé. Cette étude a été effectuée par le cabinet DAMES & MOORE en mai, juin et juillet 1998.

L'audit a mis en évidence une pollution de la partie superficielle du sol par certains métaux. Le plomb a été identifié comme polluant essentiel, à l'intérieur et aux alentours de l'usine. Un complément d'étude a été réalisé en septembre 1998 afin d'évaluer l'étendue de la zone concernée et de déterminer l'origine de cette pollution. Sur la base de ces premiers résultats, la société TPC a prévenu l'administration.

La zone polluée a été définie dans le périmètre où les analyses de sol ont mis en évidence une teneur en plomb supérieure à 85 mg/Kg de matières sèches. Un second périmètre plus pollué a été déterminé dans les zones où la teneur en plomb était supérieure à 530 mg/Kg.

La DDASS de Côte d'Or et l'Institut de Veille Sanitaire, ont alors réalisé un bilan des données sanitaires et environnementales disponibles. Il en ressort les points suivants :

A la limite de l'usine et situés sous le vent, une halte garderie et un groupe scolaire reçoivent respectivement 20 enfants, 74 enfants (maternelle) et 135 (primaire). Ces enfants, ainsi que ceux qui habitent ou fréquentent le voisinage de l'usine, sont exposés à des sources spécifiques de plomb par ingestion de poussières environnementales à l'extérieur (école, terrains de jeux) et à l'intérieur des maisons.

La population qui réside aux alentours de l'usine est exposée à une pollution au plomb d'origine atmosphérique et via les sols.

Au vu de ces éléments, compte tenu de la toxicité particulière du plomb chez les jeunes enfants, le Préfet de la Côte d'Or a décidé la mise en place d'un programme de dépistage de l'imprégnation saturnine chez les enfants.

De plus, compte tenu des résultats de l'audit environnemental, la société TPC a engagé immédiatement des travaux de traitement de ses effluents atmosphériques. Elle a également entrepris le nettoyage du groupe scolaire et de la halle de sport ainsi que le décapage des sols pollués.

#### B ) Les résultats<sup>b</sup>

- Pour l'air, la moyenne des flux de contamination du site par le plomb, due aux activités de l'usine, a été estimée à **500 g/heure**. Les retombées atmosphériques induites n'ont pas été estimées. La tendance est variable sur les dix dernières années, avec des épisodes de fortes retombées.
- Dans les sols on relève au maximum **16 668 mg** de plomb par Kg de terre.
- Plus de 229 enfants fréquentent le groupe scolaire qui est sous le vent, à la limite de l'usine. Plus de 50 % de ces enfants habitent dans un rayon inférieur à 400 m. L'étude relève que **l'augmentation** de la plombémie, lorsque l'on se rapproche du site, existe mais reste faible.
- La distribution des directions et des vitesses de **vent** par rapport à l'usine ne semble pas avoir une influence marquante sur la plombémie.
- La consommation de végétaux produits à Seurre n'est pas non plus significativement liée avec l'augmentation des plombémies.
- Les chiffres des plombémies infantiles dans la tranche d'âge de 1 à 6 ans sont les suivants :
  - ✓ Taux de plombémies supérieurs ou égaux à 100 µg/l : **3 %**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies : **38,4 µg/l**.
  - ✓ Moyenne géométrique des plombémies en Bourgogne : **42,5 µg/l**.
  - ✓ Plombémies maximales : **182 µg/l**

<sup>a</sup> Etudes sur l'usine "TPC", 1999, Réf. Biblio. n°19, 38, 73, 96 et 139.

<sup>b</sup> Fabres B., 1999, Réf. Biblio. n°73.

Les facteurs de risque identifiés sont l'âge, la catégorie socio-professionnelle du père, le temps passé à l'école (très proche de l'usine).

## Critique et Discussion

### **I ] Analyse des émissions polluantes de l'usine**

#### **A ) Analyse quantitative**

Au vu de la courbe des émissions de plomb dans l'air (graphique N°2) il apparaît nettement une diminution de celles-ci de plus de cinquante pour cent dans les années 1992/1993.

Dès 1993 les flux moyens pour l'année sont d'ailleurs passés de 70,30 Kg/j en 1986 à 31,60 Kg/j, puis 12,10 Kg/j en 1996. Ils ont donc presque été divisés par six en dix ans<sup>a</sup>.

Les plombémies des employés d'Octel ont en fait commencé à décroître en 1982. Pour l'atelier de récupération on avait 411 µg/l en 1981 puis 361 µg/l en 1982.

Tous ces faits corroborent les dires de la direction de l'usine qui parle de ses efforts en vue de réduire la pollution, depuis la fin des années 1970 et surtout la fin des années 1980.

Depuis 1996 l'usine est arrêtée.

#### **B ) Analyse topographique**

L'usine Octel est caractérisée par sa situation géographique sur les berges Sud de l'estuaire de la Loire. Or, à cet endroit, la berge sud est légèrement orientée du Nord-Ouest au Sud-Est. Cette position associée à la prédominance des vents du Sud-Ouest déporte une grande partie du panache des fumées vers la Loire.

Ce phénomène pourrait expliquer le peu d'impact que l'on retrouve à ce jour sur l'environnement terrestre voisin et cela malgré la grande quantité de polluants émis depuis la création de l'usine (plus de 120 tonnes dans les dix dernières années).

### **II ] Critique des études INRA**

#### **A ) L'expertise Paimboeuf du 26 janvier 1999<sup>b</sup>**

Plusieurs problèmes entachent les résultats de cette étude.

##### 1°) Nombre de prélèvements :

Le nombre des prélèvements, trente-deux pour un cercle de 2000 m de rayon semble nettement insuffisant. Pour exemple, la zone de Seurre a été échantillonnée sur cinquante-quatre sites.

##### 2°) Localisation des prélèvements :

Corollaire de ce faible nombre de zones analysées, certains quadrants géographiques n'ont subi que très peu de prélèvements.

Avec quatorze échantillons le quadrant "1", Ouest/Sud-Ouest, a été le mieux loti; toutefois toute la partie Sud-Ouest de la ville de Paimboeuf (quadrant "1" de 1000 m à 2000 m) n'a pas été explorée. Or, en fonction de la fréquence des vents d'Est/Nord-Est elle se trouve, parmi les zones les plus densément peuplées, la plus exposée.

Le quadrant "2" au Nord-Ouest a subi cinq prélèvements, mais deux laissent planer des doutes quant à l'origine de la terre des jardins, qui provient peut être d'apports externes.

<sup>a</sup> INSERM Expertise Collective, 1999,, Réf. Biblio. n°95.

<sup>b</sup> Prost R., 1999, Réf. Biblio. n°136.

Un seul prélèvement a été effectué dans le quadrant "3", et il s'agit malheureusement d'un marécage. Certes la majeure partie de ce quadrant est située sur le fleuve mais il aurait été intéressant de pouvoir analyser cette zone sous les vents de Sud-Ouest dominants.

Le territoire Sud/Sud-Est, quadrant "4", le moins sensible en terme de densité de population et de caractéristiques météorologiques a bénéficié de douze prélèvements relativement homogènes. Toutefois la partie Sud, au-delà de la départementale D 723, est vierge de toute analyse.

### 3°) La spéciation du plomb :

Bien qu'il soit difficile à l'heure actuelle de prendre cette caractéristique en compte, du fait de la faiblesse des connaissances concernant les rapports que peut avoir la spéciation du plomb avec son absorption, l'insuffisance de ces données hypothèque les futures analyses.

### 4°) Propositions :

L'échantillonnage devrait comporter un nombre beaucoup plus important de sites, mieux répartis en fonction de la densité de la population et des conditions météorologiques.

Afin de juger avec plus de pertinence l'exposition des enfants il aurait été judicieux d'effectuer aussi des prélèvements de poussières dans les maisons.

La spéciation du plomb dans les différents prélèvements devrait être déterminé.

## B ) L'expertise INRA du 1<sup>er</sup> février 2000<sup>a</sup>

### 1°) L'analyse des eaux de surface et des vases :

Bien que peu nombreux, les douze sites de prélèvement sont géographiquement très bien répartis. Les valeurs en plomb des analyses d'eau filtrée sont toutes inférieures aux normes actuelles de potabilité. Par contre les vases de trois des sites ont des concentrations, en µg/l, supérieures aux normes. Toutefois seule une mare à 350 m à l'Ouest de l'usine présente, en matière sèche, une teneur supérieure à 100 mg/Kg.

En résumé cette analyse des eaux de surface semble être une bonne approche de la réalité.

### 2°) Analyse des végétaux et des terres de jardins :

Au niveau topographique on aurait aimé la présence de sites dans la partie du quadrant "1" situé au sud de Paimboeuf. Les trois jardins qui présentent des légumes légèrement hors normes sont tous situés dans ce quadrant "1", Ouest/Sud-Ouest, à un maximum de 1000 m de la cheminée de l'usine.

Toutes ces parcelles feront cependant l'objet d'un suivi dans un an.

## III ] *Analyse historique*

### A ) Dans la période la plus ancienne

Cette enquête a révélé l'existence d'un certain nombre de cas de saturnisme d'origine non professionnelle dans les années 60 et au début des années 1970. Il semblerait que l'origine en soit attribuable à des causes extérieures à la présence de l'usine, eaux de boisson, utilisation de minium. Toutefois rien ne prouve réellement que l'usine n'est pas en cause.

En effet l'analyse des travaux du Dr Gruget<sup>b</sup> qui reflètent une exposition au début des années 1970, nous montre effectivement une teneur en plomb des dents à la limite de la normale; mais ces valeurs augmentent au prorata de la diminution de la distance entre le lieu de résidence et l'usine.

<sup>a</sup> Prost R., 2000, Réf. Biblio. n°137.

<sup>b</sup> Gruget P., 1977, Réf. Biblio. n°80.

Remarquons par ailleurs que les campagnes de l'INSERM de 1981 et 1983<sup>a</sup> montrent une ascension significative de la plombémie chez les hommes. Ces augmentations sont-elles les derniers reflets des émissions massives de l'usine avant 1983 ou sont-elles les prémices d'une saturation de l'écosystème par le plomb ? Les chiffres relativement modestes des valeurs "sol" du plomb laisseraient pencher vers la première hypothèse.

## B ) Dans la période la plus récente

Sur les cinq dernières années, l'enquête effectuée auprès de l'ensemble des professionnels du secteur médical et paramédical nous a permis de retrouver la trace de deux plombémies effectuées à Paimboeuf sur des non professionnels. Une seule plombémie à 136 µg/l chez un enfant dépassait les normes. Il est à noter que le père de cet enfant était récupérateur de métaux non ferreux.

De l'avis de ces professionnels, il ressort que le saturnisme ne semble pas être un problème à Paimboeuf. La population elle aussi, n'est à priori pas inquiète. Mais il peut y avoir occultation de l'inquiétude, un déni de perception des dangers potentiels.

## IV ] Critique de l'analyse métrologique

Les calculs de la concentration maximale à ne pas dépasser dans les sols sont biaisés par les paramètres choisis a priori. Si la Dose Journalière Admissible a pu faire l'objet d'une détermination expérimentale qui la rapproche de la réalité, la quantité de "sol" ingérée par jour varie selon les auteurs de 4 mg/j à 100 mg/j !!!<sup>b</sup>

Le problème est identique lors de l'estimation des plombémies avec le modèle IEUBK<sup>c</sup>.

## V ] Analyse comparative avec Bourg-Fidèle, Seurre et Arnas<sup>d</sup>

Les quatre études, méthodologiquement semblables, constituent une opportunité pour comparer les résultats des plombémies observées chez ces enfants avec les plombémies estimées à Paimboeuf.

Pour cette comparaison nous utiliserons les chiffres calculés pour une quantité de sol ingérée égale à 4 mg/j et une concentration dans les sols de 300 mg/Kg [tableau N°28].

### A ) Données métrologiques

A Bourg-Fidèle, la contamination de l'air semble avoir été relativement constante depuis dix ans. Durant le même laps de temps l'usine d'Arnas a réduit ses flux journaliers de plomb d'un facteur dix. A Seurre on estime que les rejets de l'usine ont été massifs mais épisodiques. L'usine Octel de Paimboeuf a réduit ses rejets d'un facteur six en dix ans. Elle est passée de 70,30 Kg/j en 1986 à 12,10 Kg/j en 1996<sup>e</sup>.

Tableau N° 28 Analyse comparative entre quatre sites industriels.

Analyse comparative entre Bourg-Fidèle, Seurre, Arnas et Paimboeuf							
Étude	Flux aérien des polluants en g/h	Concentration maxima dans les sols en mg/Kg	Moyenne Géométrique des Plombémies en µg/l	Pourcentage de Plombémies Supérieur à 100 µg/l	Plombémies Maximales en µg/l	Nombre d'enfants inclus ou exposés	Distance par rapport à l'usine
<b>Bourg-Fidèle</b>	<b>37.00</b>	<b>1054.00</b>	<b>73.00</b>	<b>31.00%</b>	<b>265.00</b>	132	- 700 m
Champagne-Ardenne			36.50				
<b>Seurre</b>	<b>500.00</b>	<b>16668.00</b>	<b>38.40</b>	<b>3.00%</b>	<b>182.00</b>	355	- 700 m
<sup>a</sup> Huel G., 1984, Réf. Biblio. n°07.							
<sup>b</sup> BOURG-FIDÈLE - 1994 Réf. Biblio. n°52			<b>42.25</b>				
<b>Arnas</b>	<b>12200</b>	<b>586.00</b>	<b>43.00</b>	<b>5.00%</b>	<b>150.00</b>	626	+ 700 m
<sup>c</sup> ERA-IEUBK, Réf. Biblio. n°32 et 157							
<sup>d</sup> Fabres B., 1999, Réf. Biblio. n°73.							
<sup>e</sup> RNS-INSERM Expertise Collective, 1999, Réf. Biblio. n°95.			35.70				
<b>Paimboeuf</b>	<b>500.00</b> 😊	<b>845.00</b>	<b>44.00</b> ★	<b>3.67%</b> ★	<b>169.00</b> ★	171	+ 700 m
Pays de la Loire			34.40				

## B ) Données démographiques et sociologiques

Deux facteurs distinguent les distributions des populations exposées sur les quatre sites.

Le premier est la catégorie socioprofessionnelle du père; la catégorie "ouvrier" est très nettement sur-représentée à Bourg-Fidèle. L'estimation de ce paramètre pour les enfants exposés n'a pu être faite à Paimboeuf.

Le second facteur qui distingue les populations étudiées est la distance de l'habitation par rapport à l'usine. A Bourg-Fidèle et à Seurre, la majorité des enfants habitent dans les 700 m autour de l'usine. La proportion est inversée à Arnas puisque 70 % des enfants dépistés vivent à plus de 700 m de l'usine. A Paimboeuf les enfants exposés sont à 1000 m de l'usine.

## C ) Les plombémies

Les plombémies moyennes peuvent être comparées à celles observées sur des échantillons régionaux d'enfants, constitués en 1995 par l'INSERM<sup>a</sup>.

Avec une valeur de 73 µg/l les plombémies observées à Bourg-Fidèle sont très nettement au-dessus de la moyenne régionale, qui est de 36.5 µg/l en Champagne-Ardenne.

Il en est de même à Arnas où l'on observe une moyenne de 43 µg/l contre 35,7 µg/l en Rhône-Alpes.

Par contre, les résultats de Seurre sont inattendus puisque la moyenne géométrique de 38,40 µg/l est inférieure à celle observée sur l'échantillon d'enfants de Bourgogne qui est de 42,25 µg/l.

A Paimboeuf la moyenne des plombémies estimée avec le modèle IEUBK est de 44 µg/l, supérieure à celle des Pays de la Loire qui s'élève à 34,4 µg/l ± 20,3.

La proportion d'enfants dont la plombémie est supérieure ou égale à 100 µg/l est également beaucoup plus importante à Bourg-Fidèle avec 31 % contre 3 % à Seurre et 5 % à Arnas.

A Paimboeuf on a estimé à 3,67 % le nombre d'enfants susceptibles d'avoir une plombémie supérieure à 100 µg/l<sup>b</sup> (soit 6 sur 171).

## D ) Le modèle IEUBK à Seurre

L'application du modèle IEUBK aux chiffres de Seurre, en utilisant l'ensemble des paramètres généraux précédemment décrits pour Paimboeuf, la valeur "sol" médiane de 1633 mg/Kg (donnée dans l'étude TPC), et le paramètre préconisé par De Silva<sup>c</sup> pour la quantité de sol ingérée, (**4 mg/j** : valeur utilisée dans la première simulation à Paimboeuf) donne les résultats suivants (tableau 29 et 30) :

<sup>a</sup> Ledrans M., 1997, Réf. Biblio. n°111.

<sup>b</sup> Dans l'hypothèse d'une QSI de 4 mg/j.

<sup>c</sup> De Silva, P.E., 1994, Réf. Biblio. n°52.

Tableau N° 29 IEUBK à Seurre (plombémies).

Age	Plombémies Calculées en µg/l	Plombémies Mesurées en µg/l
	Pour une valeur SOL de 1633 mg/Kg	
0.5 à 1	27	13,5
1 à 2	29	24,5
2 à 3	51	21,9
3 à 4	58	20,8
4 à 5	59	39,7
5 à 6	58	40,0
6 à 7	57	54,1

Tableau N° 30 IEUBK à Seurre (moyennes et pourcentages).

	Pour 1633 mg/Kg	Valeurs Réelles
<i>Moyenne géométrique toutes classes d'âge confondues</i>	49 µg/l	38,4 µg/l
<i>Pourcentage au-dessous de 100 µg/l</i>	93,97 %	97 %
<i>Pourcentage au-dessus de 100 µg/l</i>	6,03 %	3 %
<i>Valeur maximum</i>	188 µg/l	182 µg/l

La comparaison des valeurs calculées par rapport aux valeurs réelles montre une légère surestimation du modèle IEUBK, surtout pour les plombémies des enfants d'un âge inférieur à cinq ans. Une valeur de quantité de sol ingérée fixée à 100 mg/j aurait bien entendu majoré cette surestimation.

## E ) Les facteurs de risque identifiés<sup>a</sup>

Sur les nombreux facteurs de risque étudiés, ce sont dans les trois cas les mêmes variables explicatives qui ressortent.

Donnée déjà bien étayée dans la littérature, l'âge est le premier facteur de risque. Ce facteur a été pris en compte dans notre étude.

La catégorie socio-professionnelle du père, est le second facteur de risque. Il reflète les conditions socio-économiques. Ce facteur n'a pu être pris en compte à Paimboeuf.

A Bourg-Fidèle et à Arnas l'exposition professionnelle, s'avère être un troisième facteur de risque. Le fait que les parents travaillent dans l'usine constitue un facteur aggravant de la plombémie des enfants. Ce facteur de risque disparaît à Paimboeuf du fait de la fermeture d'Octel.

La responsabilité de l'usine dans l'augmentation de la plombémie a été mise en évidence dans les trois études, soit du fait de la proximité de l'habitat par rapport à l'usine soit du fait du temps passé dans une école à moins de 100 m de l'usine.

## F ) Analyse

Les plombémies de Seurre sont inattendues puisqu'on retrouve les plombémies les plus faibles sur le site a priori le plus contaminé.

<sup>a</sup> Fabres B., 1999, Réf. Biblio. n°73.

L'InVS envisage trois hypothèses pour expliquer ce résultat. Un défaut dans la mesure des indicateurs environnementaux ou biologiques est possible. Mais on peut aussi envisager des procédés industriels et des modes différents de protection des travailleurs. Or ils se distinguent justement très nettement dans ces trois sites. Il est également possible que des spéciations particulières du plomb entraînent des mécanismes d'absorption différents.

Toutefois d'autres différences existent entre les sites.

La répartition géographique des populations par rapport à l'usine est différente. A Bourg-Fidèle, là où les plombémies sont les plus élevées, la population est concentrée à proximité de l'usine. A Arnas, où les plombémies sont plus faibles, peu d'enfants habitent près de l'usine.

La disparité des conditions socio-économiques est également un point marquant. C'est à Bourg-Fidèle que l'on observe la plus forte proportion de catégories modestes.

L'exposition professionnelle des parents et la quantité de plomb ramené à la maison jouent aussi un rôle. On observe ce phénomène à Bourg Fidèle où une proportion non négligeable des enfants, c'est-à-dire 15 %, ont des parents ayant un emploi sur le site.

Les caractéristiques du site de Paimboeuf sont pour une part celles d'Arnas, les enfants exposés sont dans un rayon supérieur à 700 m, mais d'autre part celles de Seurre en ce qui concerne l'importance des flux polluants aériens horaires. Cette position intermédiaire en matière d'exposition semble se retrouver dans les résultats de l'estimation IEUBK, dont les chiffres se situent à mi-chemin d'Arnas et de Seurre [Tableau N°27].

## **VI ] Les scénarios possibles**

Aider à la décision, c'est proposer plusieurs scénarios argumentés, aussi allons nous terminer cette analyse en envisageant plusieurs hypothèses.

### **A ) Le scénario minimaliste**

Il suppose des teneurs en plomb des terres de Paimboeuf toujours inférieures à 300 mg/Kg et des Quantités de Sol Ingérées égales à 4 mg/j.

Avec ces hypothèses Wixson et Davies<sup>a</sup> estiment que 99 % de la population est protégée (plombémie inférieure à 100 µg/l). La Dose Journalière Admissible n'est pas dépassée. Pour les enfants de 1 à 7 ans, la modélisation IEUBK nous donne une moyenne géométrique de plombémie à 44 µg/l et 96,33 % des résultats inférieurs à 100 µg/l.

Dans ce cas de figure la situation est sans danger.

### **B ) Le scénario maximaliste**

On estime ici la teneur des terres en plomb supérieure à 300 mg/Kg mais inférieure à 500 mg/Kg. Les Quantités de Sols Ingérées sont fixées à 100 mg/j.

Selon Wixson on a encore 98 % de la population protégée. Mais pour les enfants jusqu'à 6 ans la DJA est dépassée. IEUBK calcule dans cette hypothèse une moyenne géométrique égale à 89 µg/l et la moyenne des enfants de 2 à 4 ans est supérieure à 100 µg/l. On a également 38,16 % des enfants au-dessus de 100 µg/l.

En gardant à l'esprit la surestimation que semble produire la modélisation IEUBK, la situation est quand même ici beaucoup plus grave.

<sup>a</sup> Wixson B.G., 1998, Réf. Biblio. n°156.



## C ) En conclusion

La réalité des faits se trouve sûrement entre ces deux extrêmes. Notre capacité de jugement est principalement hypothéquée par deux variables.

### 1°) La Quantité de Sol Ingérée :

La détermination de la réalité de la Quantité de Sol Ingérée par jour n'est pas du strict ressort d'une étude de terrain comme celle menée à Paimboeuf. Nous pouvons espérer en la matière des solutions en provenance d'organismes de recherche.

### 2°) Les mesures des concentrations en plomb des sols :

Les mesures des concentrations en plomb des sols de la ville pourraient assez facilement rétrécir la fourchette de l'incertitude si elles étaient en plus grand nombre et avaient une meilleure localisation.

Un dernier paramètre, lui aussi de nature plus fondamentale, pourrait améliorer les caractéristiques de la modélisation. Nous évoquons ici les rapports que peut avoir la spéciation du plomb avec son absorption.

## Conclusion et Propositions

### I ] Réponse à la question posée

La commande de la DDASS était : ***Faut-il réaliser, dans l'immédiat, un dépistage du saturnisme par prélèvement sanguin chez les enfants résidant dans une zone, restant à définir, autour de l'usine Octel de Paimboeuf.***

L'ensemble des données sanitaires récentes (à savoir les dix dernières années) ne nous donne aucune information alarmante sur l'état de santé de la population et particulièrement des enfants à Paimboeuf.

Les données environnementales en notre possession, nous ont amené à envisager deux scénarios.

L'hypothèse minimaliste nous permet d'estimer les valeurs sols comme inférieures à celles que l'on pourrait envisager comme des maxima à ne pas dépasser. Si l'on adopte ce schéma, l'attente des résultats de la campagne de l'InVS, dont nous allons parler ci-dessous, peut s'envisager sereinement.

Par contre dans l'hypothèse maximaliste, il semblerait imprudent de reculer les prélèvements de sols nécessaires à une meilleure appréciation du risque.

Mais en l'état actuel des données et quelle que soit l'hypothèse choisie, une campagne de prélèvements sanguins semble prématurée; elle pourrait générer des inquiétudes inutiles et présenter ainsi un bilan global négatif.

***Il n'est donc pas nécessaire de réaliser, dans l'immédiat, un dépistage du saturnisme par prélèvement sanguin chez les enfants résidant autour de l'usine Octel de Paimboeuf.***

### II ] Propositions

Tout comme le site de Paimboeuf les sites industriels pouvant être suspectés de présenter un "risque plomb" sont nombreux et la demande de transparence est croissante de la part des populations riveraines.

Mais le dépistage des plombémies ne s'impose pas forcément comme la méthode à mettre en œuvre en priorité. Cette étude et les comparaisons des quatre sites témoignent de la difficulté de mettre en adéquation pollution environnementale, exposition et plombémie.

Un effort de recherche particulier devrait être mené quant à la détermination de la quantité moyenne de plomb absorbée pour une concentration tellurique donnée. Cela sous-tend des résultats touchant les valeurs de sol ingéré, et les mécanismes d'absorption du plomb par l'organisme en fonction de la spéciation du métal.

A défaut d'une surveillance régulière de l'exposition des populations, des diagnostics environnementaux doivent être menés en préalable de toute autre approche. Les objectifs en sont alors les suivants:

- ✓ Evaluer les risques liés à l'exposition.
- ✓ Cibler la population à risque.
- ✓ En déduire les actions à mettre en œuvre.

### III ] Le guide méthodologique de l'InVS

Afin d'aider les décideurs à prendre en compte ces différents aspects et à organiser les études les mieux adaptées, un groupe de travail "diagnostic environnemental plomb", a été créé par l'InVS et la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie (CIRE-Ouest).

Ce groupe doit, au terme de son étude, élaborer un guide méthodologique. Dans le cadre de la réalisation de ce guide, le site de Paimboeuf a été choisi comme site test pour bâtir une méthodologie spécialement adaptée au diagnostic des sites ayant cessé leur activité, mais dont la pollution environnementale persiste.

Il est donc prévu pour le site de Paimboeuf de réaliser un complément de diagnostic environnemental. A la suite de ce supplément d'étude il serait judicieux de réactiver la problématique d'une campagne de plombémie.

#### **IV ] L'analyseur LeadCare**

Dans l'éventualité où ce diagnostic environnemental aboutirait à la conclusion qu'il faut réaliser un bilan des plombémies réelles, il serait alors intéressant d'utiliser la technique "LeadCare".

L'appareil "LeadCare" est un analyseur portable de plombémie qui permet l'analyse grâce à une simple piqûre au bout d'un doigt. Le résultat de la plombémie est obtenu en trois minutes. Son utilisation a été validée, il y a maintenant plus de trois ans, par le Center for Disease Control and Prevention (CDCP) aux USA<sup>a</sup>.

Cet appareil a de nombreux avantages sur un prélèvement sanguin classique. Il ne nécessite pas de prise de sang par ponction intra veineuse et ne provoque donc pas le stress que peut générer ce type d'acte. Avec son utilisation aucun problème de transport ou de conservation de tube de sang ne se pose. Sa mobilité rend les campagnes de dépistage plus faciles à organiser. Dernier avantage, la rapidité d'obtention des résultats est un élément qui incite fortement à la participation.

Son seul inconvénient tient au soin particulier qu'il faut apporter à la réalisation de la ponction digitale, afin d'éviter toute contamination par des poussières de plomb.

#### **V ] Conclusion**

Cette étude avait pour objectif d'orienter la DDASS dans sa décision concernant les mesures sanitaires à prendre pour la ville de Paimboeuf.

Une proposition complète de la conduite à tenir dans l'immédiat, et pour les mois à venir a été donnée et nous semble-t-il bien étayée.

Mais il ne faut pas perdre de vue que la pollution environnementale par le plomb persiste pendant plusieurs dizaines d'années après l'arrêt de toutes activités émettrices. Le programme d'étude mis en place par l'InVS devrait permettre d'analyser plus finement cette évolution temporelle.

Sur un plan plus général remarquons que cette étude fait clairement ressortir le rôle du binôme que forment l'Ingénieur Sanitaire et le Médecin Inspecteur de Santé Publique (MISP). Cette équipe est la seule capable d'intégrer l'ensemble des compétences nécessaires à l'approche d'une problématique ayant des répercussions médicales fortes.

En effet le MISP est souvent mal ou trop peu associé à l'ensemble du processus de diagnostic environnemental et lorsque arrive le moment où la décision ne peut être que médicale, il se trouve en situation difficile, dans l'obligation de conseiller sans réelle appropriation du problème. En matière de santé environnementale il semble donc nécessaire que le Médecin Inspecteur s'implique beaucoup plus qu'il ne le fait actuellement.

---

<sup>a</sup> Annexe D.

## Bibliographie

1. **AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY**, *"The nature and extent of lead poisoning in children in the United States: a report to Congress"*, Atlanta, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1988
2. **AGERON C.**, *Le plomb dans l'habitat ancien : comparaison des techniques de neutralisation, étude de leur mise en œuvre*, ENSP, Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur sanitaire, octobre 1995, 94 p
3. **ALFARO C., VINCELET C., LOMBRAIL P., DELOUR M., SQUINAZI F., FONTAINE A., GOTTOT S., BRODIN M.**, *"Evaluation de la stratégie de dépistage du saturnisme chez les enfants âgés de 1 à 3 ans, suivis dans les centres de protection maternelle et infantile à Paris"*, Rev. Epidém. et Santé Publ., 1993, n°41, pp 473-479
4. **ANGLE C.R., MC INTIRE M.S.**, *"Environmental lead and children: the Omaha study"*, Journal of toxicology and environmental health, 1979, n°5, pp 855-870
5. **ANNEST J.L.**, *"Trends in blood lead levels of the United States population"*, Rutter M., Russel Jones R. editors, Lead versus health, Sources and effects of low level lead exposure, Chichester, John Wiley & Sons, 1983, pp 33-58
6. **ASCHEGRAU A., BEISER A., BELLINGER D., COPENHAFFER D., WEITZMAN M.**, *"The impact of soil lead abatement on urban children's blood lead levels; phase II : results from the Boston Lead-in-Soil demonstration project"*, Environ. Res., 1994, n°67, pp 125-148
7. **AWAD L., HUEL G., LAZAR P., BOUDENE C.**, *"Facteurs de variation interindividuelle de la plombémie"*, Rev. Epidem. et Santé Publ., 1981, n°29, pp 113-124
8. **BAGHURST P.A., TONG S., MC MICHAEL A.J., ROBERTSON E.F., WIGG N.R., VIMPANI G.V.**, *"Determinants of blood lead concentrations to age 5 years in a birth cohort study of children living in the lead smelting city of Port Pirie and surrounding areas"*, Archives of Environmental Health, 1992, n°47, pp 203-210
9. **BELLINGER D., LEVITON A., RABINOWITZ M., ALLRED E., NEEDLEMAN H., SCHOENBAUM S.**, *"Weight gain and maturity in fetuses exposed to low levels of lead"*, Environ.Research, 1991, n°54, pp 151-158
10. **BONITHON-KOPP C., HUEL G., GRASMICK C., SARMINI H., MOREAU T.**, *"Effects of pregnancy on the inter-individual variations in blood levels of lead, cadmium and mercury"*, Biol. Res. Preg., 1986c, n°7, pp 37-42
11. **BONITHON-KOPP C., HUEL G., MOREAU T.**, *"Plomb et développement psychomoteur de l'enfant - Analyse critique des arguments d'origine épidémiologique"*, Rev. Neuropsych. Enf. Adol., 1986, n°34, pp 383-394
12. **BONITHON-KOPP C., HUEL G., MOREAU T., WENDLING R.**, *"Prenatal exposure to lead and cadmium and psychomotor development of the child at 6 years"*, Neurobehav. Toxicol. Terato., 1986, n°8, pp 307-310
13. **BONNEFOY X., HUEL G., GUEGUEN R.**, *"Variation of the blood lead level as a function of lead contamination of the subjects drinking water"*, Water Res., 1985, n°19, pp 1299-1303
14. **BORNSCHEIN R.L., SUCCOP P., DIETRICH K.N., CLARK C.S., QUE HEE S. HAMMOND P.B.**, *"The influence of social and environmental factors on dust lead, hand lead and blood lead levels in young children"*, Environ. Res., 1985, n°38, pp 108- 118
15. **BOUYER J., HEMON D., CORDIER S., DERRIENIC F., STÜCKER I., STENGEL B., CLAVEL J.**, *Épidémiologie. Principes et méthodes quantitatives*, Paris, éditions INSERM, 1993
16. **BRODY D.J., PIRKLE J.L., KRAMER R.A., FLEGAL K.M., MATTE T.D., GUNTER E.W., PASCHAL D.C.**, *"Blood lead levels in the US population". Phase 1 of the third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III, 1988 to 1991)*, JAMA, 1994, n°272, pp 277-283
17. **BRUNEKREEF B.**, *Childhood exposure to environmental lead*, London, Monitoring and Assessment Research Center, 1986

18. **BRYAN F.L.**, *Comment apprécier les risques liés à la préparation et à la conservation des aliments*, OMS Genève, 1994
19. **BURGEI E., LEDRANS M.**, *Evaluation des risques sanitaires liés à la pollution émise par l'usine TPC à Seurre: Bilan des données disponibles et propositions*, St Maurice, RNSP, décembre 1998, 34 p et annexes
20. **BURGEI E., LEDRANS M.**, *Identification des sites industriels à risque plomb en vue de la programmation du dépistage du saturnisme infantile*, InVS, juin 1999, 17 p
21. **BURGOON et al.**, *"Relationships among lead levels in blood, dust and soil"*, In: *Lead poisoning: exposure abatement regulation*, Breen J.J. et Stroup C.R. eds, Boca Raton FL : Lewis Publishers, 1995 , pp 255-264
22. **CALABRESE E.J., BARNES R. STANEK E.J., PASTIDE H. GILBERT C.E., VENEMAN P., LASZTITY A., KOSTECKI P.T.**, *"How much soil do young children ingest : an epidemiologic study"*, Regul. Toxicol. Pharmacol., 1989, n°10, pp 123-137
23. **CELLULE INTER-REGIONALE D'EPIDEMIOLOGIE D'INTERVENTION DE RHONE-ALPES ET AUVERGNE**, *Evaluation de l'exposition des enfants au plomb émis par l'usine Metaleurop à Arnas (Rhône) : résultats du dépistage des imprégnations au plomb et de l'analyse des facteurs de risques*, DRASS de Rhône-alpes, novembre 1999, 70 p et annexes
24. **CENTERS FOR DISEASES CONTROL**, *Screening young children for lead poisoning: guidance for state and local public health officials*, Atlanta, novembre 1997
25. **CEZARD C., HAGUENOER J.M.**, *Toxicologie du plomb chez l'homme*, Lavoisier Tec. et Doc., 1992, 350 p
26. **COLLECTIF POUR L'ETUDE DU CADMIUM ET DU PLOMB**, *Le plomb en questions*, CECAD-Plomb, septembre 1995, 80 p
27. **COMITE TECHNIQUE PLOMB DU RHONE**, *Le saturnisme infantile. Guide de prise en charge médicale*, Lyon , DDASS du Rhône, mars 1998, 15 p
28. **COMITE TECHNIQUE PLOMB**, *Dépistage et suivi des enfants exposés au risque de saturnisme*, DGS, septembre 1993, 11 p et annexes
29. **COMITE TECHNIQUE PLOMB**, *Enquête environnementale à mener après dépistage d'un enfant présentant une plombémie supérieure à 150 µg/l*, DGS, février 1994, 7 p et annexes
30. **COMMISSION DE L'URBANISME ET DE L'HABITAT**, *Plomb et environnement*, Techniques sciences et méthodes, février 1994
31. **COMMISSION DE TOXICOVIGILANCE**, *Intoxication par le plomb chez l'enfant. Rapport du groupe de travail sur le saturnisme infantile*, Ministère des Affaires Sociales de la Santé et de la Ville, DGS, juillet 1993, 89 p et annexes
32. **COMMITTEE ON DRUGS, American Academy of Pediatrics**, *"Treatment guidelines for lead exposure in children"*, Pediatrics, 1995, n°96, pp 155-160
33. **CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE, Section de l'alimentation et de la nutrition**, *Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation: évaluation et gestion du risque*, Lavoisier Technique et documentation, avril 1996, 142 p
34. **CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE, Section des eaux**, *Risques sanitaires liés aux boues de station d'épuration des eaux usées urbaines*, Lavoisier Technique et documentation, 1998, 106 p
35. **COOK M., CHAPPELL W.R., HOFFMAN R.E., MANGIONE E.J.**, *"Assessment of blood lead levels in children living in a historic mining and smelting community"*, American Journal of Epidemiology, 1993, n°137, pp 447-455
36. **DAVIDSON C.I., RABINOWITZ M.**, *"Lead in the environment: from sources to human receptors"*, Needleman HL editor, Human lead exposure, Boca Raton, CRC Press, 1987, pp 66-86
37. **DAVIS J.M., SVENDSGAARD D.J.**, *"Lead and child development"*, Nature, 1987, n°329, pp 297-300

38. **DDASS de Côte d'Or**, *Affaires TPC : Bilan des enquêtes d'environnement chez les enfants présentant une plombémie supérieure à 100 µg/l*, Dijon, 1999, 6 p et annexes
39. **DDASS des Ardennes**, *Enquêtes environnementales - saturnisme autour du site de l'usine Métal Blanc à Bourg-Fidèle*, septembre 1998, 7 p
40. **DDASS des Ardennes**, *Evaluation de l'exposition des enfants aux polluants émis par l'usine Métal Blanc à Bourg-Fidèle. Dépistage des imprégnations saturnines excessives et estimations des imprégnations par l'arsenic et le cadmium*, Saint-Maurice, RNSP, janvier 1999, 47 p et annexes
41. **DDASS DU PAS-DE-CALAIS**, *Bilan du programme de prévention du saturnisme infantile du département du Pas-de-Calais*, ORS Nord-Pas-de-Calais, Institut de Médecine du travail du Nord de la France, La Madeleine, décembre 1995, 48 p
42. **DDASS DU RHONE, Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie d'Intervention de Rhône-Alpes-Auvergne**, *Evaluation de l'exposition des enfants au plomb émis par l'usine Metaleurop à Arnas (Rhône); protocole de dépistage des imprégnations au plomb et d'analyse des facteurs de risques*, Lyon, mai 1999, 22 p et annexes
43. **DDASS DU RHONE**, *Metaleurop/Arnas : analyse des risques sanitaires pour la population d'Arnas et communes limitrophes des émissions de plomb dans l'environnement*, Lyon, Note pour le sous-préfet de Villefranche-sur-Saône, 21 avril 1999, 4 p et annexes
44. **DDASS DU RHONE**, *Note relative aux résultats des enquêtes logement réalisées au domicile des enfants dont la plombémie est supérieure ou égale à 100 µg/l, dans le cadre du dépistage autour du site Metaleurop d'Arnas*, Lyon, 6 août 1999
45. **DECLERCQ C., LAHOUTE C., HAGUENOER J.M., MERCIER J.F.**, *Enquête épidémiologique sur l'imprégnation en plomb de nouveau-nés de mère vivant autour de 2 fonderies de métaux non-ferreux*, Lille, ORS Nord-Pas-de-Calais, 1988
46. **DECLERCQ C., LAHOUTE C., HAGUENOER J.M., MERCIER J.F.**, *Évaluation de l'exposition au plomb de 2 groupes d'enfants de la région Nord-Pas-de-Calais*, La Madeleine, ORS Nord-Pas-de-Calais, 1990
47. **DECLERCQ C., SPINOSI L., VANDENBERGUE A. et al.**, *Bilan du programme de prévention du saturnisme infantile du département du Pas-de-Calais*, Lille, ORS du Pas-de-Calais, 1995, 48 p
48. **DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY (DHSS)**, *Lead an Health; the report of a DHSS working party on lead in the environment*, Lawther Report, HMSO, London, 1980
49. **DERUELLE S., GUILLOUX F.**, *Estimation des retombées plombiques autour d'une source d'émission en utilisant les lichens comme bio-indicateurs*, Rapport d'étude de l'Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de cryptogamie, janvier 1994, 48 p
50. **DERUELLE S.**, *Suivi des retombées plombiques (et autres métaux lourds) en utilisant les lichens comme bio-indicateurs*, Deuxième rapport d'étude de l'Université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de cryptogamie, mai 1998, 62 p
51. **DEFONTAINE S.**, *Plomb organique : soixante années de risque maîtrisé dans l'entreprise Octel*, mémoire de DES en médecine du travail, Inter-Région Ouest, septembre 1998, 66 p et annexes
52. **DE SILVA P.E.**, *"How much soil do children ingest : a new approach"*, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1994 n°9, pp 40-43
53. **DIETRICH K., KRAFFT K., BORNSCHEIN R., HAMMOND P., BERGER O., SUCCOP P., BIER M.**, *"Low-level fetal lead exposure effect on neurobehavioral development in early infancy"*, Pediatrics, 1987, n°80, pp 721-730
54. **DIETRICH K.N., KRAFFT K.M., PEARSON D.T. et al.**, *"Postnatal lead exposure and early sensorimotor development"*, Environ. Res., 1985, n°38, pp 130-136
55. **DIRECTION GENERALE DE LA SANTE**, *La diagonale des métaux. Etude sur la teneur en métaux de l'alimentation*, Alimentation et santé, 1995, Ministère chargé de la santé, 31 p
56. **DRASS DES PAYS DE LA LOIRE**, *Plomb et saturnisme infantile en Loire-Atlantique; Campagnes de dépistage et de sensibilisation 1995/1997*, non publié

57. **DRIRE NORD-PAS-DE-CALAIS, Division Environnement Industriel**, *La qualité de l'air dans la région Nord-Pas-de-Calais en 1992*, Douai, 1993
58. **DRIRE NORD-PAS-DE-CALAIS**, *L'industrie au regard de l'environnement*, Douai, 1993
59. **DRIRE PAYS DE LA LOIRE**, *Industrie et environnement sur l'estuaire de la Loire*, Ministère de l'Environnement, secrétariat permanent à la prévention des pollutions industrielles, mai 1992, 40 p
60. **DRIRE PAYS DE LA LOIRE**, *Industrie et environnement : le temps du dialogue*, Préfecture de Région, 1998, 63 p
61. **DRIRE RHONE-ALPES**, Groupe de subdivisions du Rhône, *Metaleurop à Arnas. Rejets atmosphériques et contrôle des émissions et surveillance de l'environnement*, Note 99/054 du 16 avril 1999, Villeurbanne, 2 p et annexes
62. **DUGGAN M.J., INSKIP M.**, "Childhood exposure to lead in surface dust and soil : a community health problem", *Publ. Health Rev.*, 1985, n°13, pp 1-54
63. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Guidance manuel for the integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children ( IEUBK )*, USA
64. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Exposure factors handbook. Vol 1-general factors*, Washington, 1996a
65. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Preparation of soil sampling protocols : sampling techniques and strategies*, Washington, 1992
66. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Recommandations of the technical review workgroup for lead for an interim approach to assessing risks associated with adult exposures to lead in soil*, Washington, 1996b
67. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Risk assessment guidance for superfund - Vol. 1 : Human Health Evaluation Manual*, part A, Washington, 1989
68. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Soil screening guidance, Technical background document*, Washington, 1996
69. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, *Validation strategy for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for lead in children*, Washington, 1994
70. **ERNHART C.B., LANDA B., SCHELL N.B.**, "Subclinical levels of lead and developmental deficit - A multivariate follow-up reassessment", *Pediatrics*, 1981, n°67, pp 911-919
71. **ERNHART C.B.**, "A critical review of low-level prenatal lead exposure in the human - I : Effects on the fetus and newborn", *Repr. Tox.*, 1992, pp 9-19
72. **ERNHART C.B.**, "A critical review of low-level prenatal lead exposure in the human - II : Effects on the developing child", *Repr. Tox.*, 1992, pp 21-40
73. **FABRES B.**, *Evaluation de l'exposition des enfants au plomb d'origine industrielle : le cas de l'usine Métaleurop à Arnas (Rhône) comparé à celui d'autres études menées récemment en France*, Communication aux Journées scientifiques de l'InVS, 2 et 3 décembre 1999, 21 p
74. **FONTAINE A., XU Q., BRODIN M., LOMBRIL P., DELOUR M., SQUINAZI F., BOURDON R., CHATAIGNER D., GARNIER R., et al.**, "Dépistage du saturnisme infantile à Paris", *Bull. Epidém. Hebd.*, 1992, n°2, pp 5-7
75. **FULTON M., THOMSON G., HUNTER R, RAAB G., LAXEN D., HEPBURN W.**, "Influence of blood lead on the ability and attainment of children in Edinburg", *Lancet*, 1987 i, pp 1221-1225
76. **GAGNE D.**, "Blood lead levels in Noranda children following removal of smelter contaminated yard soil", *Can. J. of Public Health*, 1994, n°85, pp 163-166
77. **GALVIN J., STEPHENSON J., WLODARCZYK J., LOUGHRAN R., WAILER G.**, "Living near a lead smelter ; an environmental health risk assessment in Boolaroo and Argenton, New South Wales", *Australian Journal of Public Health*, 1993, n°17(4), pp 373-378

78. **GENTILE S., JOUGLARD J., BOYER M., GREGOIRE R., ARMENGAUD A., GARANS M., ARDITTI J., COLLOMB J.et al.**, "*Dépistage du saturnisme infantile dans les Bouches-du-Rhône : bilan des 6 premiers mois*", Bull. Epidém. Hebd., 1995, n°31, pp 137-139
79. **GLORENNEC P., LEDRANS M.**, *Programmation du dépistage du saturnisme autour des sites industriels ; diagnostic préalable des sites : exposition des populations*, InVS, février 2000, 15 p
80. **GRUGET P.**, *De la teneur en plomb des dents comme élément de diagnostic de l'exposition antérieure au plomb*, Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire, Université de Nantes, 1977
81. **HARVEY P.G., HAMLIN M.W., KUMAR R., DELVES H.T.**, "*Blood lead, behaviour and intelligence test performance in pre-school children*", Sci.Total Environ., 1984, n°40, pp 45-60
82. **HOGEN K., MARCUS A., SMITH R., WHITE P.**, "*Integrated exposure uptake biokinetic model for lead in children : empirical comparaisons with epidemiologic data*", Environ. Health Perspect., 1998, n°106 (Supplement 6), pp 1557-1567
83. **HUEL G., BOUDENE C., JOUAN M., LAZAR P.**, "*Assessment of exposure to lead of the general population in the french community through biological monitoring*", Arch. Occup. Environ. Health, 1986, n°58, pp 131-139
84. **HUEL G.**, *Appréciation des risques associés à l'exposition aux solvants organiques chez les personnels de laboratoire*, 1992
85. **HUEL G., BOUDENE C., IBRAHIM M.A.**, "*Cadmium and lead content of maternal and newborn hair ; relationship to parity, birth weight and hypertension*", Arch.Environ.Health, 1981, n°36, pp 221-227
86. **HUEL G.**, *Campagnes d'application en France de la Directive européenne du 29 mars 1977 concernant la surveillance biologique de la population vis-à-vis du risque saturnin*, Rapport final 1979-1982, Ministère chargé de la Santé, DGS, 1983
87. **HUEL G.**, *Campagnes d'application en France de la Directive européenne du 29 mars 1977, concernant la surveillance biologique de la population vis-à-vis du risque saturnin*, INSERM, rapport final, 1984, 57 p et annexes
88. **HUEL G., DERRIENNIC F., DUCIMETIERE P., LAZAR P.**, "*Dureté de l'eau et mortalité cardiovasculaire - Analyse critique des arguments de pathologie géographique*", Rev. Epidém. Santé Publ., 1978, n°26, pp 349-359
89. **HUEL G., PETIOT J.F., LAZAR P.**, "*Algorithm for the grouping of contiguous geographical zones*", Stat. In Medicine, 1986, n°5, pp 171-181
90. **HUEL G.**, *Surveillance biologique de populations de femmes enceintes d'origine urbaine, l'une parisienne l'autre montréalaise, vis-à-vis du plomb et du manganèse. Imprégnation corporelle par plomb ou/et manganèse, consécutive à l'adjonction de ces éléments dans les carburants automobiles*, Rapport final, Ministère de l'environnement, Direction Générale de l'Administration et du Développement, Réf. DGAD/SRAE/94170.
91. **HUEL G.**, *Surveillance de la population française vis-à-vis du risque saturnin*, INSERM, rapport final, décembre 1997, 90 p
92. **HUEL G., TUBERT P., FRERY N., MOREAU T., DREYFUS J.**, "*Joint effects of gestational age and maternal lead exposure on psychomotor development of the child at six years*", Neurotoxicology, 1992, n°13, pp 249-254
93. **HUNTER J.**, "*The distribution of lead*", Lansdown R.and Yule W. editors, in Lead toxicity : History and environmental impact, Baltimore, The John Hopkins University Press, 1986, pp 96-126
94. **INSEE**, *Nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles*, PCS, 1994, 2ème édition, Paris, 1994
95. **INSERM**, *Plomb dans l'environnement: quels risques pour la santé ? Synthèses et recommandations*, Expertise Collective, Paris, 1999, 461 p
96. **INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE ET DDASS DE COTE-D'OR**, *Evaluation de l'imprégnation saturnine des enfants exposés aux polluants émis par l'usine TPC à Seurre (Côte-d'Or)*, Saint-Maurice, juillet 1999, 60 p et annexes



97. **INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE**, *Programmation du dépistage du saturnisme infantile autour des sites industriels*, St Maurice, à paraître
98. **INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS)**, *Inorganic lead - Environmental health criteria*, OMS, Genève, 1995, 300 p
99. **JEFCA**, *Summary and conclusions 53thd meeting*, Joint FAO/OMS Expert Committee on Food Additives, Rome, juin 1999
100. **KHALIL K.**, *Détection du plomb atmosphérique à Lyon et Villeurbanne à l'aide de lichens et de chiffonnettes en 1997/1998*, Grenoble, Centre de biologie alpine, Université Joseph Fourier, 35 p et annexes
101. **KIMBOROUGH R., LEVOIS M., WEBB D.**, "Survey of lead exposure around a closed lead smelter", *Pediatrics*, 1995, n°95, pp 550-554
102. **KISSEL et al.**, "Empirical investigations of hand to mouth transfer of soil", *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 1998, n°60, pp 379-386
103. **KOSATSKY T., BOIVIN M.C.**, "Blood lead levels in children living near abandoned metal-recovery plants", *Revue canadienne de santé publique*, 1994, n°85(3), pp 158-162
104. **LAFORST L., ANNINO M.C., ALLUARD A., VAN DEN WIELE F., PRECAUSTA D., ALBOUY J.**, "Contamination secondaire au plomb : Etude épidémiologique sur des enfants de salariés professionnellement exposés", *Documents pour le médecin du travail*, 1998, n°75, pp 259-263
105. **LANDRIGAN P.J., BAKER E.L.**, "Exposure of children to heavy metals from smelters : epidemiology and toxic consequences", *Environmental Research*, 1981 , n°25, pp 204-224
106. **LANGLOIS P., SMITH L., FLEMING S., GOULD R., GOEL V., GIBSON B.**, "Blood lead levels in Toronto children and abatement of lead-contaminated soil and house dust", *Archives of Environmental Health*, 1996, n°51(1), pp 59-67
107. **LANPHEAR et al.**, "A randomized trial of the effect of dust control on children blood lead levels", *Pediatrics*, 1996, n°98, pp 35-40
108. **LANSDOWN L.**, "Lead, intelligence, attainment and behaviour", in: *The lead debate : The environment, toxicology and child health*, ed. Lansdown R & Yule W, Croom Helm, London, 1986, pp 235-270
109. **LEDRANS M., PACLOT C.**, "Le saturnisme infantile", *Echanges santé-social*, 1994, n°74, pp 23-28
110. **LEDRANS M.**, "Un nouveau système de surveillance : un outil épidémiologique pour mieux connaître et prévenir le saturnisme infantile", *BEH*, août 1995, n°31, pp 139
111. **LEDRANS M., BOUDOT J.**, *Surveillance du saturnisme infantile en France. Bilan des activités de dépistage, résultats des données disponibles en mars 1997*, RNSP, novembre 1997, 50 p
112. **LEDRANS M., LE GOASTER C., BOUY P., DEBAISIEUX F., ROUSSEL C.**, *Evaluation de l'exposition des enfants aux polluants émis par l'usine Métal Blanc à Bourg-Fidèle*, St-Maurice, RNSP et DDASS des Ardennes, 1999, 47 p et annexes
113. **LEDRANS M., QUENEL P., JOUAN M.**, *Evaluation des risques sanitaires liés à la pollution émise par une fonderie de métaux non ferreux à Bourg-Fidèle : bilan des données disponibles et propositions*, Saint-Maurice, RNSP, janvier 1998, 20 p et annexes
114. **LELEU C.**, *Santé, travail et environnement - Résultats préliminaires du programme de dépistage du saturnisme infantile dans le département du Pas-de-Calais*, Mémoire de DES de médecine du travail, Université de Lille II, 1995
115. **LEVALLOIS P., LAVOIE M., GOULET L., NANTEL A.J., GINGRAS S.**, "Blood lead levels in children and pregnant women living near a lead-reclamation plant", *Can. Med. Assoc. J.*, 1991, n°144(7), pp 877-885
116. **MADDALONI M., LOLACONO N., MANTON W., BLUM C., DREXLER J., GRAZIANO J.**, "Bioavailability of soilborne lead in adults by stable isotope dilution", *Environ. Health Perspect.*, 1998, n°106(Supplement 6), pp 1589-1594

117. **MAHAFFEY K.R.**, "Predicting blood lead concentrations from lead in environmental media", National Center for Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, Environ. Health Perspect., 1998, n°106(Supplement 6), pp 1485-1493
118. **MARECEK J., SHAPIRO I.M., BURKE A., KATZ S.H., HEDIGER M.L.**, "Low-level lead exposure in childhood influences neuropsychological performance", Arch. Environ. Health, 1983, n°38, pp 355-359
119. **MARLOWE M., ERRERA J., JACOBS J.**, "Increased lead and cadmium burdens among mentally retarded children with borderline intelligence", Am. J. Ment. Defic., 1983, n°97, pp 477-83
120. **MARQUIS M.**, *La lutte contre l'intoxication par le plomb dans le département du Rhône : bilan de l'implication des médecins libéraux*, ENSP, Mémoire MISP, juin 1995, 139 p
121. **MC MICHAEL A., VINPANI G., ROBERTSON E., BAGHURST P. CLARK P.**, "The Port Piri cohort study : maternal blood lead and pregnancy outcome", J.Epidemiol.Community Health, 1986, n°40, pp 18-25
122. **MICKEY R.M., GREENLAND S.**, "The impact of confounder selection criteria on effect estimation", Am. J. Epidemiol., 1989, n°129, pp 125-137
123. **MIELKE H.W., REAGAN P.L.**, "Soil is an important pathway of human lead exposure", Environmental health perspectives, 1998, n°106(supplément 1), pp 217-229
124. **MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT**, *Recensement 1996 des sites et sols pollués*, novembre 1997
125. **MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT**, *Gestion des sites potentiellement pollués*, Paris, BRGM Editions, Juin 1997
126. **MOORE M., GOLDBERG A., POCOCK S., MEREDITH A., STEWART I., MAC ANESPIE H., REES R., LOW A.**, "Some studies of maternal and infant lead exposure in Glasgow", Scott. Med. J., 1982, n°27, pp 113-122
127. **MORTON D., SAAH A., SILBERG S., OWENS W.L., ROBERTS M.A., SAAH M.**, "Lead absorption in children of employees in a lead-related industry", Am. J. Epidemiol., 1982, n°115, pp 549-555
128. **MUSHAK P.**, "Gastro-intestinal absorption of lead in children and adults : overview of biological and biophysico-chemicals aspects", Chemical speciation and bioavailability, 1991, n°3(3/4), p87
129. **MUSHAK P.**, "Uses and limits of empirical data in measuring and modelling human lead exposure", Environ. Health Perspect., 1998, n°106(suppl 6), pp 1467-1484
130. **NEEDLEMAN H.L.**, "La prévention du saturnisme infantile", Preventive Medicine, 1994, vol. 23, pp 634-637
131. **OUVRAGE COLLECTIF**, *Le plomb dans l'eau de distribution*, Techniques Sciences Méthodes, n°3, mars 1994, 168 p
132. **OUVRAGE COLLECTIF**, *Plomb et environnement*, Techniques Sciences Méthodes, n°2, février 1994, 93p
133. **PIRKLE J.L., BRODY D.J., GUNTER E.W., KRAMER R.A., PASCHAL D.C., FLEGAL K.M., MATTE T.D.**, "The decline in blood lead levels in the United States", The National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES), JAMA, 1994, n°272, pp 284-291
134. **PROGRAMME DE RECHERCHES CONCERTÉES**, Environnement et activités humaines, "Métaux polluants des sols(Cd, Pb, Zn) et organismes vivants, III : qualité des productions végétales", Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, janvier 1999, 131 p et annexes
135. **PROGRAMME DE RECHERCHES CONCERTÉES**, Environnement et activités humaines, "Métaux polluants des sols(Cd, Pb, Zn) et organismes vivants, V : Métaux et santé humaine", Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, décembre 1997, 36 p et annexes
136. **PROST R.**, *Expertise Paimboeuf*, INRA de Versailles, Unité de Science du Sol, 26 janvier 1999, 16 p et annexes
137. **PROST R.**, *Suivi de la qualité de l'eau et des végétaux autour du site de Paimboeuf, INRA de Versailles, Unité de Science du Sol, 1<sup>er</sup> février 2000, 4 p et annexes*

138. **PUTZRATH R.M., WILSON J.D.**, *"Fundamentals of risk assessment : use, derivation, validity and limitations of safety indices"*, Risk Analysis, 1999, Vol 19, N°2, pp 231-248
139. **RNSP**, *Evaluation de l'exposition saturnine des enfants autour du site TPC à Seurre : protocole*, Version finale, Saint Maurice, 1999, 15 p et annexes
140. **ROELS H.A., BUCHET J.P., LAUWERYS R., BRUAUX P., CLAEYS-THOREAU F., LAFONTAINE A., VERDUYN G.**, *"Exposure to lead by the oral and the pulmonary routes of children living in the vicinity of a primary lead smelter"*, Environ. Res., 1980, n°22, pp 81-94
141. **SCHILLING R.J., BAIN R.P.**, *"Prediction of children's blood lead levels on the basis of household specific soil lead levels"*, Am. J. Epidemiol., 1988, n°128, pp 197-205
142. **SCHWARTZ J.**, *Low-level lead exposure and children's IQ : a meta-analysis and search for a threshold*, Environ. Res., 1994, n°65, pp 42-55
143. **SERVICE DE MEDECINE PREVENTIVE ET SOCIALE**, *Le saturnisme infantile : définitions - quelques repères historiques*, Université de Paris 6, Santédoc, août 1997, 18 p
144. **SMITH B.L.**, *Codex Alimentarius, Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires, 1992"*
145. **SMITH M.**, *"Intellectual and behavioural consequences of low level lead exposure: a review of recent studies"*, Clin. Endocrino.Metabo., 1985, n°14, pp 657-680
146. **SOCIETE FRANCAISE DE SANTE PUBLIQUE**, *L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque*, Collection Santé et Société, n°7, 1999, 363 p
147. **SQUINAZI F.**, *Marqueurs biologiques du saturnisme infantile*, In Saturnisme et peintures au plomb, Journées d'étude organisées par la DRASS Ile-de-France, 11 et 12 octobre 1991, 105 p
148. **STERLING D. et al.**, *"Evaluation of four sampling methods for determining exposure of children to lead-contaminated household dust"*, Environmental Research Section A, 1999, n°81, pp 130-141
149. **THATCHER R.W., LESTER M.L., MC ALASTER R., HORST R.**, *"Effects of low levels of cadmium and lead on cognitive functioning in children"*, Arch. Environ. Health , 1982, n°37, pp 159-166
150. **THIRIAT-DELON H., STEFFANN J., NICOLAS D, DUC M.**, *"Enquête de dépistage du saturnisme infantile d'origine hydrique dans les Vosges"*, Santé publique, 1994, n°6, pp 263-273
151. **TREPKA M.J., HEINRICH J., KRAUSE C., SCHULZ C., LIPPOLD U., MEYER E., WICHMANN E.**, *"The internal burden of lead among children in a smelter town - A small area analysis"*, Environ. Res., 1997, n°72, pp 118-130
152. **US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Centers for disease control**, *Preventing lead poisoning in young children*, Atlanta, 1991
153. **WANG J.D., JANG C.S., HWANG Y.H., CHEN Z.S.** "Lead contamination around a kindergarden near a battery recycling plant", Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1992, n°49, pp 23-30
154. **WEICHERDING J.**, *Ethique et déontologie : des principes à la pratique dans le domaine de la santé environnementale*, Université de Rennes, D.E.S.S. Droit Santé Ethique, 15 septembre 1997, 67 p
155. **WEITZMAN M., ASCHENGRAU A., BELLINGER D., JONES R., HAMLIN J.S., BEISER.A.**, *"Lead-contaminated soil abatement and urban children's blood lead levels"*, JAMA, 1993, n°269, pp 1647-1654
156. **WIXSON B.G., DAVIES B.E.**, *"Guidelines for lead in soil : proposal of the society for environmental geochemistry and health"*, Environ. Sci. Technol., 1994, n°28, pp 26A-31A
157. **WHITE P.D., VAN LEEUWEEN P. et al.**, *"The conceptual structure of the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children"*, Environ. Health Perspect., 1998, n°106 (suppl 6), pp 1513-1530
158. **WINNEKE G., BEGINN U., EWERT T. et al.**, *"Comparing the effects of perinatal and later childhood lead exposure on neuropsychological outcome"*, Environ. Res., 1985, n°38, pp 155-167

## Réglementation

1. **Décret n°48-2034 du 30 décembre 1948** portant règlement d'administration publique, relatif à l'interdiction d'emploi de la céruse, du sulfate de plomb et de l'huile de lin plombifère dans les travaux de peinture en bâtiment.
2. **Loi n°61-842 du 2 août 1961** relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs et portant modification de la loi du 19 décembre 1917, J.O. du 3 août 1961.
3. **Décret n°74-415 du 13 mai 1974** modifié relatif au contrôle des émissions polluantes dans l'atmosphère et à certaines utilisations de l'énergie thermique.
4. **Loi n°76-663 du 19 juillet 1976** modifiée relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, J.O. du 20 juillet 1976.
5. **Directive du 29 mars 1977** relative à la surveillance biologique de la population vis à vis du risque saturnin, J.O.C.E. L.105 du 28 Avril 1977.
6. **Décret n°77-1133 du 21 septembre 1977** pris pour l'application de la loi du 19 juillet 1976 modifiée relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.
7. **Directive 80/778/CEE du 15 juillet 1980** relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, J.O.C.E. L 229 du 30 août 1980.
8. **Directive 82/884/CEE du 3 décembre 1982** relative à la pollution de l'air par le plomb, J.O.C.E. L 378 du 31 décembre 1982.
9. **Circulaire DGS du 6 août 1984** relative aux aspects sanitaires liés au plomb et à l'influence de la qualité de certaines eaux.
10. **Décret n°88-120 du 1<sup>er</sup> février 1988** relatif à la protection des travailleurs exposés au plomb métallique et à ses composés, J.O. du 5 février 1988.
11. **Arrêté du 11 avril 1988** fixant les conditions de contrôle de l'exposition au plomb métallique et à ses composés et le contenu du dossier que tout organisme sollicitant un agrément doit adresser au Ministre chargé du travail, J.O. du 19 avril 1988.
12. **Arrêté du 15 septembre 1988** fixant les instructions techniques que doivent respecter les médecins du travail assurant la surveillance médicale des travailleurs exposés au plomb métallique et à ses composés et les valeurs de référence des paramètres biologiques représentatifs de l'exposition de ces travailleurs, à ces toxiques, J.O. du 22 octobre 1988.
13. **Décret n°89-3 du 3 janvier 1989** modifié relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, J.O. du 4 avril 1989
14. **Arrêté du 16 mars 1989** fixant les teneurs maximales en plomb des produits destinés à l'alimentation animale, J.O. du 13 avril 1989.
15. **Arrêté du 14 novembre 1990** sur le renforcement de la protection des travailleurs exposés au plomb.
16. **Circulaires DGS/PGE/SD.1D n°66 et n°71** des 27 novembre et 26 décembre 1991 concernant le plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine.
17. **Loi n°92-3 du 3 janvier 1992** modifiée sur l'eau, J.O. du 4 janvier 1992.
18. **Arrêté du 1<sup>er</sup> février 1993** relatif à l'interdiction de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses ou vénéneuses.
19. **Circulaire DGS/VS3/93/N°62 du 17 septembre 1993** relative à la transmission d'un rapport sur l'intoxication par le plomb chez l'enfant.

20. **Circulaire DGS/VS3/SP2/N°76 du 1<sup>er</sup> décembre 1993** relative à l'intoxication par le plomb chez l'enfant.
21. **Arrêté du 19 janvier 1995** relatif à l'organisation d'un système national de surveillance du saturnisme infantile.
22. **Circulaire DGS/VS4/94 n°28 du 27 mars 1995** concernant les eaux naturellement peu minéralisées destinées à la consommation humaine.
23. **Circulaire DGS/VS3/95/N°43 du 9 mai 1995** relative à la mise en place du système national de surveillance du saturnisme infantile.
24. **Circulaire DGS/VS3/95/N°94 du 9 mai 1995** relative aux actions contre l'intoxication par le plomb.
25. **Directive 96/62/CEE du 27 septembre 1996** concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant, J.O.C.E. du 21 novembre 1996.
26. **Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996** sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, J.O. du 1<sup>er</sup> janvier 1997.
27. **Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997** relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées, J.O. du 10 décembre 1997.
28. **Arrêté du 8 janvier 1998** fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles J. O. du 31 janvier 1998.
29. **Arrêté du 2 février 1998** modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, J.O. du 27 février 1998.
30. **Décret n°98-360 du 6 mai 1998** relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites, J O du 13 mai 1998.
31. **Décret n°98-361 du 6 mai 1998** relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air, J.O. du 13 mai 1998.
32. **Décret n°98-362 du 6 mai 1998** relatif aux plans régionaux pour la qualité de l'air, J.O. du 13 mai 1998.
33. **Loi n°98-657 du 29 juillet 1998** relative à la lutte contre les exclusions, J.O. du 31 juillet 1998.
34. **Directive 98/83/CEE** relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, J.O.C.E. L330/32 du 5 décembre 1998.
35. **Arrêté du 10 décembre 1998** relatif à la création d'une base de données sur les sites industriels et d'activités de service anciens, J.O. du 16 avril 1999.
36. **Avis du CSHP du 16 mars 1999**, sur des recommandations suite à l'expertise collective "plomb dans l'environnement", non publié au J.O..
37. **Décret n°99-362 du 6 mai 1999** fixant les modalités de transmission obligatoire à l'autorité sanitaire de données individuelles, J.O. du 13 mai 1999.
38. **Décret n°99-363 du 6 mai 1999** fixant la liste des maladies faisant l'objet d'une transmission obligatoire de données individuelles à l'autorité sanitaire, J.O. du 13 mai 1999.
39. **Décret n°99-483 du 9 juin 1999** relatif aux mesures d'urgence contre le saturnisme prévues aux articles L 32-1 à L 32-4 du code de la santé publique et modifiant le C.S.P., J.O. du 11 juin 1999.
40. **Décret n°99-484 du 9 juin 1999** relatif aux mesures d'urgence contre le saturnisme prévues à l'article L 32-5 du code de la santé publique et modifiant le C.S.P., J.O. du 11 juin 1999.

## Principales personnes rencontrées à l'occasion de ce mémoire

- Docteur Christian BAILLY, médecin inspecteur. Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Nord-Pas-de-Calais (DDASS 62).
- Monsieur Stephen BETTOLI, directeur de l'usine de Paimboeuf. Société Octel-France.
- Monsieur Roger FIAT, consultant. Société Octel-France.
- Monsieur Philippe GLORENNEC, ingénieur sanitaire. Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest (CIRE Ouest).
- Madame Marie-Andrée GORAGUER, ingénieur d'étude sanitaire. Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire-Atlantique (DDASS 44).
- Docteur Henri GREAUD, ancien médecin du travail de la société Octel (à la retraite).
- Monsieur Lucien GUEGUEN, ingénieur sanitaire. Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales des Pays de la Loire (DRASS).
- Madame Martine LEDRANS. Institut de Veille Sanitaire (Unité Santé-Environnement).
- Monsieur François MANSOTTE, ingénieur sanitaire. Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire-Atlantique (DDASS 44).
- Docteur Maryannick PRAT, médecin inspecteur. Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de la Loire-Atlantique (DDASS 44).
- Monsieur René PROST, professeur à L'INRA. Institut National de la Recherche Agronomique (Unité de Science du Sol) INRA-Versailles.
- Monsieur Michel ROMAGNOLI, inspecteur des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement des pays de la Loire (DRIRE).
- Monsieur Joël SIMON, ingénieur sécurité-environnement de l'usine de Paimboeuf. Société Octel-France.
- Docteur Annie TOURANCHET, médecin inspecteur régional du travail. Direction Régionale du Travail de l'Emploi et de la formation professionnelle des Pays de la Loire (DRTE).

## Index des cartes

Carte N° 1 Localisation de Paimboeuf.....	5
Carte N° 2 Fond géologique plomb (Carte BRGM/ANTEA janvier 1996).....	10
Carte N° 3 Localisation des capteurs OCTEL.....	30
Carte N° 4 Rose des vents.....	50
Carte N° 5 Localisations des prélèvements INRA et ANTEA.....	51
Carte N° 6 Prélèvements d'eau et de vase.....	63
Carte N° 7 Localisations des prélèvements de végétaux et de terre.....	67

## Index des graphiques

Graphique N° 1 Plombémies des travailleurs d'octel de 1976 à 1992.....	26
Graphique N° 2 Mesures de la concentration du plomb dans l'atmosphère à Paimboeuf.....	32
Graphique N° 3 Population de Paimboeuf.....	33
Graphique N° 4 Extension spatiale de la pollution (ANTEA 1996).....	53
Graphique N° 5 Extension spatiale de la pollution (INRA 1997).....	56

## Index des histogrammes

Histogramme N° 1 Population par classes d'âge et par sexe (année 1990).....	34
Histogramme N° 2 Population par classes d'âge de 0 à 19 ans (année 1990).....	36
Histogramme N° 3 Teneur en plomb des dents, répartition des résultats par rapport au domicile.....	43

## Index des photos

Photo N° 1 L'usine Octel.....	5
-------------------------------	---

## Index des tableaux

Tableau N° 1 Conseil Supérieur d'Hygiène Publique (valeurs limites).....	11
Tableau N° 2 Plombémies des travailleurs d'octel de 1976 à 1992.....	26
Tableau N° 3 Liste des installations émettant plus de 2Kg de plomb par jour.....	29
Tableau N° 4 Mesures de la concentration du plomb dans l'atmosphère à Paimboeuf.....	31
Tableau N° 5 Population de Paimboeuf.....	33
Tableau N° 6 Population par classes d'âge et par sexe (année 1990).....	34
Tableau N° 7 Population par classes d'âge de 0 à 19 ans (année 1990).....	36
Tableau N° 8 Teneur en plomb des dents en µg/g.....	41
Tableau N° 9 Teneur en plomb des dents, répartition des résultats par rapport au domicile.....	42
Tableau N° 10 Plombémie de l'échantillon de la population de Paimboeuf (1981).....	45
Tableau N° 11 Plombémie de l'échantillon de la population de Paimboeuf (1983).....	46
Tableau N° 12 Prélèvements ANTEA, classement par distance.....	52
Tableau N° 13 Prélèvements ANTEA, classement par quadrant.....	53
Tableau N° 14 Prélèvements INRA, classement par ordre croissant de la teneur en plomb.....	55
Tableau N° 15 Prélèvements INRA, classement par distance.....	57
Tableau N° 16 Prélèvements INRA, classement par quadrant.....	59
Tableau N° 17 Test de biodisponibilité sur le Ray-Grass.....	60
Tableau N° 18 Tableau récapitulatif des échantillons d'eau et de vase.....	62
Tableau N° 19 Analyse des terres des jardins.....	64
Tableau N° 20 Prélèvements végétaux.....	66
Tableau N° 21 Concentration en plomb acceptable dans les sols.....	70
Tableau N° 22 Ingestion de plomb dans les aliments solides.....	71
Tableau N° 23 Concentration Maximale Tolérable dans les sols en fonction de QSI.....	73
Tableau N° 24 Plombémies Calculées pour une Quantité de Sol Ingérée de 4 mg/j.....	75
Tableau N° 25 Moyennes et pourcentages en fonction des valeurs sol en plomb.....	75
Tableau N° 26 Plombémies Calculées pour une Quantité de Sol Ingérée de 100 mg/j.....	75
Tableau N° 27 Moyennes et pourcentages en fonction des valeurs sol en plomb.....	76
Tableau N° 28 Analyse comparative entre quatre sites industriels.....	83
Tableau N° 29 IEUBK à Seurre (plombémies).....	85

**Tableau N° 30 IEUBK à Seurre (moyennes et pourcentages). .....85**



## **Annexes**

### ***1] Annexe A : Normes et valeurs limites dans les produits***

## FRANCE

Recommandations poids frais	Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	Plomb mg.kg <sup>-1</sup>	Mercurure mg.kg <sup>-1</sup>
<b>Comité du codex alimentarius (1990) :</b> <i>valeurs indicatives *</i>			
fruits et légumes		0,5	
céréales et produits dérivés		0,5	
<b>Conseil Supérieur d'Hygiène Publique :</b> <i>proposition de valeurs limites *</i>			
céréales et produits dérivés	0,1 (sauf le son)	0,5	0,03
légumes et fruits (sauf les exceptions suivantes)	0,1	0,3	0,03
céleri, épinards salades	0,2	0,5	0,03
choux	0,1	0,5	0,03
conserves (sauf boissons) légumes		0,3	0,03
champignons	0,1	0,3	0,05
conserves céleri, épinards, salades, choux	0,2	0,5	0,03
concentré de tomate	0,1	1,5	
nourriture bébé sans poisson			0,02
nourriture bébé avec poisson			0,1
<b>ALIMENTATION ANIMALE</b> <b>Arrêté du 16 mars 1989 (en poids sec)</b>	1,13	45	

\* Conseil Supérieur d'hygiène publique de France 1996 - Section de l'Alimentation et de la Nutrition. Plomb, Cadmium et Mercure dans l'alimentation : Evaluation et gestion du risque. *Ministère du travail et des affaires sociales, Direction Générale de la Santé.*  
Collection TEC et DOC Lavoisier. pp 74-80.

PAYS BAS Loi du 13 Décembre 1985

Valeurs maximales en poids frais	Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	Plomb mg.kg <sup>-1</sup>	Mercurure mg.kg <sup>-1</sup>
céréales, grains	0,15	0,5	0,03
pommes de terre	0,1	0,2	0,02
salades, endives, épinards	0,2	0,3	0,03
carottes	0,2	0,5	0,03
tomates, échalotes, paprika	0,1	0,3	0,03
choux	0,1	2,5	0,03
champignons	0,1	0,3	0,03
concombres, cornichons	0,03	0,3	0,03
fruits	0,03	0,3	0,01

POLOGNE

Valeurs maximales	Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	Plomb mg.kg <sup>-1</sup>	Zinc mg.kg <sup>-1</sup>
Légumes en poids frais (1)	0,03	0,3	
références d'auteurs polonais sur les valeurs à ne pas dépasser dans l'alimentation en poids sec (2)	0,1	1	50
valeurs admises par des auteurs polonais sur les teneurs à ne pas dépasser dans les fourrages (2) (proposition) en poids sec	0,5	30	100

(1) J. Gzyl. 1990. Lead and cadmium contamination of soil and vegetables in the upper silesia region of Poland. *The science of the Total Environment*, 96, pp 199-200. Elsevier publisher

(2) S. Dudka, M. Piotrowska, A. Chlopecka, T. Witek. 1995. Trace metal contamination of soils and crop plants by mining and melting industry in Upper Silesia, South Poland. *Journal of geochemical exploration*, pp 237 - 250. Elsevier publisher.

VALEURS LIMITES O.M.S./F.A.O

- pour l'absorption de Pb toutes sources confondues = 3 mg de Pb/personne/semaine (1)
- pour l'absorption de Cd, toutes sources confondues = 0.4 - 0.5 mg de Cd/personne/semaine (1)

## ALLEMAGNE Loi du 1er Octobre 1986

Valeurs maximales en poids frais	Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	Plomb mg.kg <sup>-1</sup>	Mercurure mg.kg <sup>-1</sup>
blé	0,1	0,3	0,03
seigle	0,1	0,4	0,03
riz	0,1	0,4	0,03
pommes de terre	0,1	0,25	0,02
légumes verts avec les exceptions ci-dessous	0,1	0,8	0,05
choux vert	0,1	2,0	0,05
épinards	0,5	0,8	0,05
légumes aériens (poireaux...)	0,1	0,5	0,05
légumes: fruits (tomates..)	0,1	0,25	0,05
légumes souterrains sans céleri rave (carottes, betteraves rouges..)	0,1	0,25	0,05
céleri rave	0,2	0,25	0,05
framboises, fraises	0,05	0,5	0,03
prunes	0,05	0,5	0,03
citrons	0,05	0,5	0,03
autres fruits	0,05	0,5	0,03

## BELGIQUE Loi du 2 décembre 1991

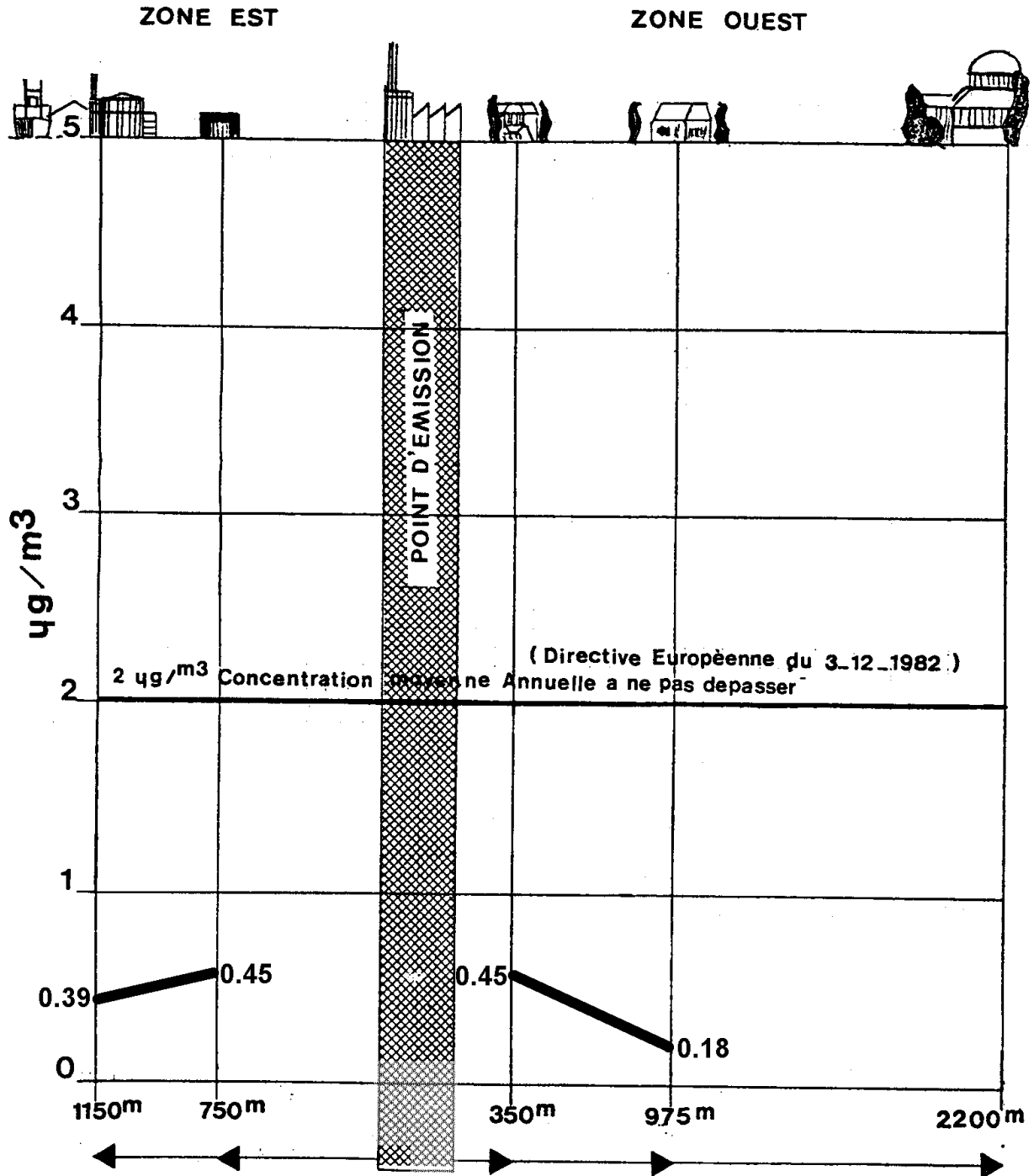
valeurs maximales (poids frais)	Cadmium mg.kg <sup>-1</sup>	Plomb mg.kg <sup>-1</sup>	Mercurure mg.kg <sup>-1</sup>
céréales grains, y compris soja	0,15	0,5	0,03
pommes de terre	0,1	0,2	0,02
choux	0,1	0,3	0,03
exception: <i>Brassica oleraceae</i> L., var. <i>sabellica</i> L.	0,1	2,5	0,03
petits pois/ haricots	0,1	0,3	0,03
légumes verts (salades, mâches, endives, épinards...)	0,2	0,5	0,03
tomates	0,1	0,3	0,03
concombres et cornichons	0,03	0,3	0,03
carottes, salsifis	0,2	0,3	0,03
céleri rave, betteraves rouges, oignons	0,1	0,3	0,03
poireaux	0,2	0,3	0,03
champignons cultivés	0,1	0,3	0,1
fruits	0,03	0,3	0,01
Dérégulation : produits en boîtes de conserve			
- tomates et produits à base de tomate		1,5	
- autres denrées alimentaires		0,5	

II] **Annexe B : Auto-Surveillance Octel (2 pages)**

**POLLUTION**

**Mesures en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  \_Annee 1995**

**MOYENNE ANNUELLE PAR POINT**



**PLOMB ORGANIQUE ET MINERAL****ATMOSPHERE VILLE DE PAIMBOEUF  
ET SON ENVIRONNEMENT (microgramme Plomb/M3)**

DECEMBRE 1995

05/01/1996	VILLE DE PAIMBOEUF (Ouest)						ZONE EST					
	n° 1 : 350 mètres			n° 2 : 975 mètres			n° 7 : 750 mètres			n° 8 : 1.150 mètres		
	MOIS	ORGA	MINE	TOTAL	ORGA	MINE	TOTAL	ORGA	MINE	TOTAL	ORGA	MINE
JANVIER	0.04	0.02	0.06	0.03	0.01	0.04	1.95	0.06	2.01	0.32	0.01	0.33
FEBVRIER	0.09	0.01	0.10	0.08	0.01	0.09	0.48	0.05	0.53	0.49	0.02	0.50
MARS	0.26	0.04	0.30	0.13	0.02	0.14	0.28	0.07	0.35	0.64	0.03	0.66
AVRIL	0.88	0.07	0.95	0.23	0.04	0.27	0.36	0.04	0.22	0.19	0.01	0.20
MAI	0.97	0.08	1.05	0.36	0.04	0.40	0.16	0.02	0.17	0.25	0.09	0.34
JUIN	0.24	0.05	0.29	0.12	0.01	0.13	0.19	0.05	0.24	0.16	0.02	0.18
JUILLET	0.23	0.05	0.27	0.19	0.01	0.20	0.12	0.01	0.13	1.66	0.02	1.68
AOUT	0.75	0.11	0.86	0.28	0.05	0.33	0.45	0.04	0.48	0.19	0.05	0.23
SEPTEMBRE	0.31	0.04	0.35	0.11	0.03	0.13	0.58	0.04	0.62	0.17	0.01	0.19
OCTOBRE	0.27	0.05	0.32	0.06	0.02	0.08	0.06	0.03	0.08	0.01	0.01	0.02
NOVEMBRE	0.52	0.06	0.58	0.19	0.03	0.22	0.44	0.04	0.46	0.39	0.03	0.42
DECEMBRE	0.25	0.05	0.30	0.07	0.04	0.11	0.07	0.08	0.15	0.03	0.02	0.05
<b>MOYENNE</b>	0.40	0.05	0.45	0.15	0.03	0.18	0.43	0.04	0.45	0.37	0.03	0.39
<b>NB D'ANALYSES</b>	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
<b>VALEUR MINI</b>	0.03	0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
<b>VALEUR MAXI</b>	2.47	0.14	2.58	0.72	0.19	0.91	2.62	0.19	2.72	3.18	0.15	3.19

## III ] Annexe C : Météo-France (2 pages)



## ROSE DES VENTS

Station MN SAINT NAZAIRE M N

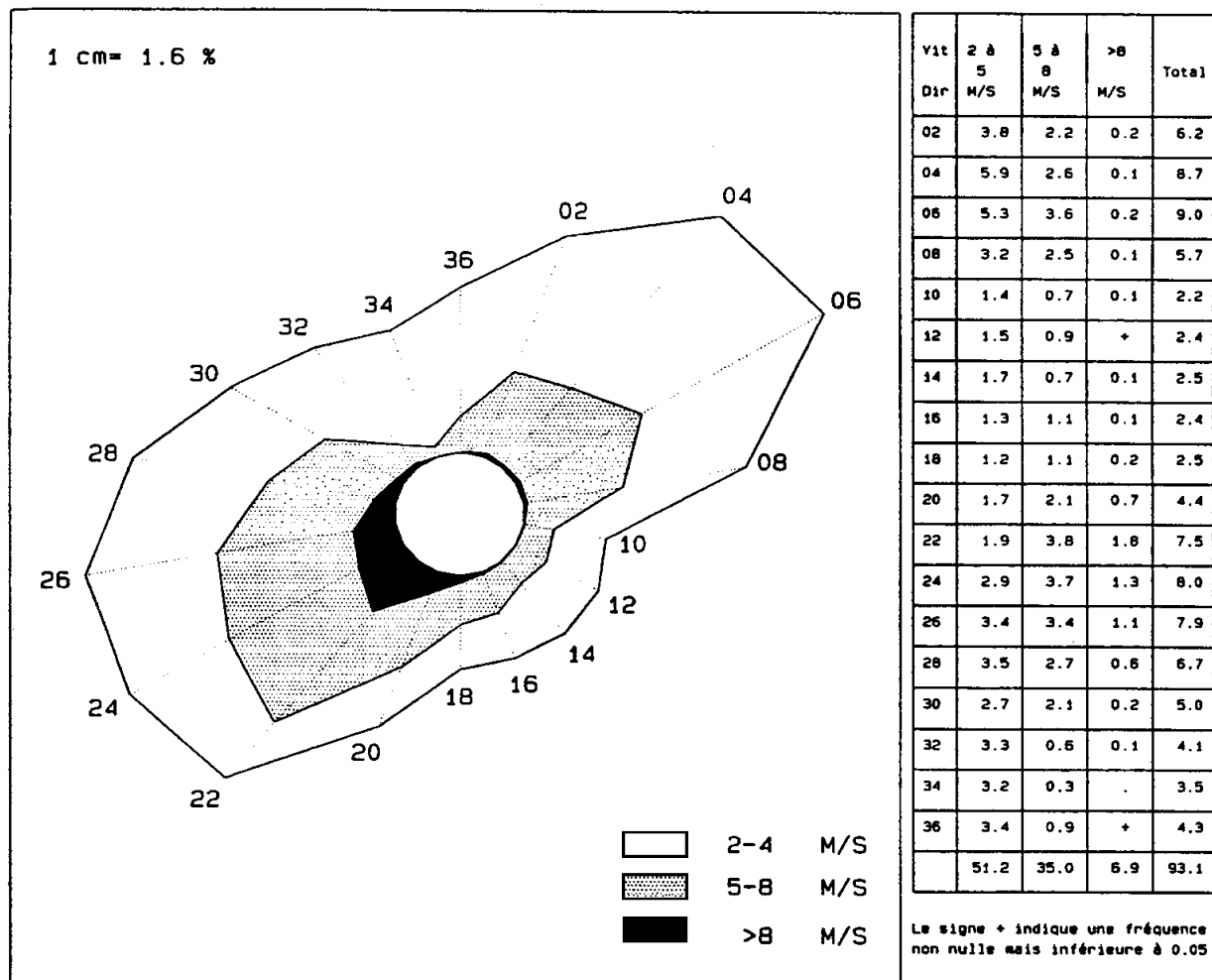
Commune MONTOIR DE BRETAGNE  
Lieu-dit AEROPORT  
Département LOIRE-ATLANTIQUE

Altitude 2.8 m  
Latitude 47.19'0 N  
Longitude 02.10'0  
Hauteur anémo. 10.0 m

Période : JANVIER 1993 à DECEMBRE 1993

Fréquences moyennes des directions du vent en %  
Par groupes de vitesses : 2-4 M/S, 5-8 M/S, sup. à 8 M/S

Type de données : Valeurs trihoraires de 00 à 21 heures UTC



Fréquence des vents inférieurs à 2 M/S : 6.9 %

Nombre de cas observés : 2920  
Nombre de cas manquants : 0



## ROSE DES VENTS

Station MN SAINT-NAZAIRE M-F

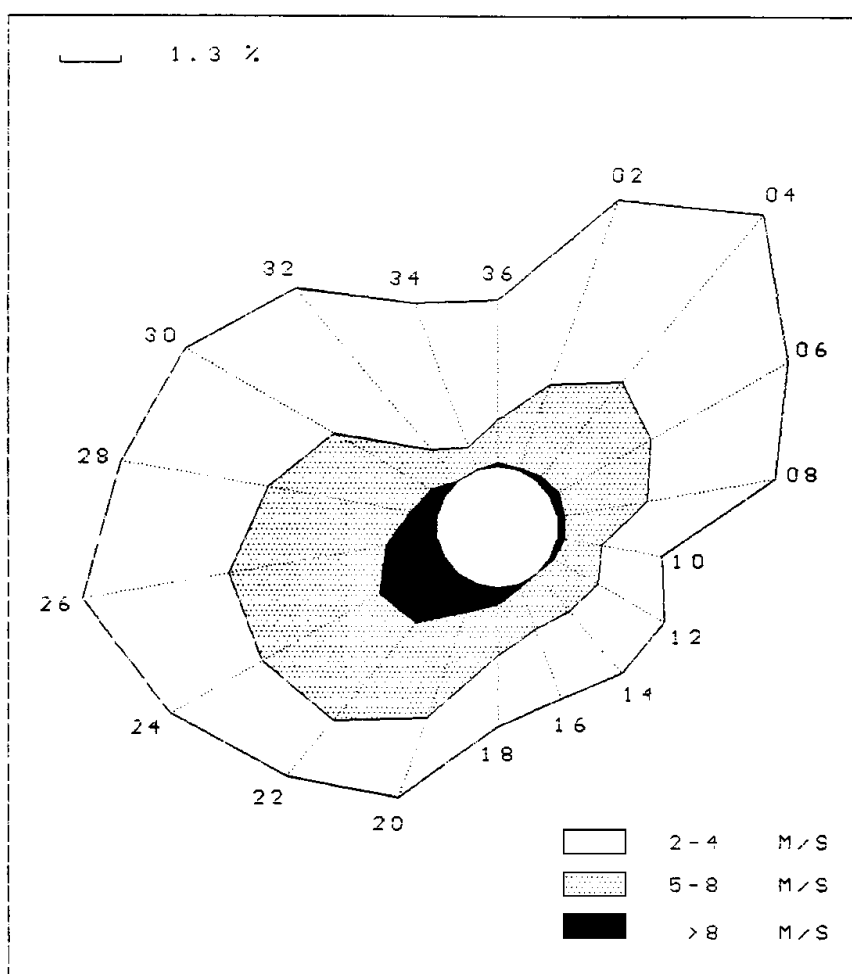
Commune MONTOIR DE BRETAGNE  
Lieu-dit AEROPORT  
Département LOIRE-ATLANTIQUE

Altitude 2.8 m  
Latitude 47°19'0 N  
Longitude 02°10'0  
Hauteur anémo. 10 m

Période : JANVIER 1995 à DECEMBRE 1995

Fréquences moyennes des directions du vent en %  
par groupes de vitesses : 2-4 M/S, 5-8 M/S, sup. à 8 M/S

Type de données : Valeurs trihoraires de 00 à 21 heures UTC



Vit.	2 à 4 M/S	5 à 8 M/S	>8 M/S	Total
02	4.3	2.0	0.1	6.3
04	4.8	2.7	0.1	7.6
06	3.4	2.3	0.2	6.0
08	2.8	1.8	0.2	4.8
10	1.3	0.8	0.2	2.3
12	1.7	1.1	0.1	2.8
14	1.8	1.1	.	2.9
16	1.6	1.0	0.1	2.7
18	1.6	1.1	0.4	3.1
20	1.9	2.5	0.7	5.0
22	1.6	2.8	1.4	5.8
24	2.3	2.9	1.6	6.9
26	3.2	3.5	1.1	7.8
28	3.2	3.1	0.6	7.0
30	3.8	2.5	0.3	6.5
32	4.6	0.9	.	5.5
34	3.4	0.5	.	3.9
36	2.6	1.0	0.1	3.7
	50.0	33.5	7.1	90.6

Le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.05 %

Fréquence des vents inférieurs à 2 M/S : 9.4 %

Nombre de cas observés : 2917  
Nombre de cas manquants : 3



#### **IV] Annexe D : Analyseur portable de plombémie**

L'appareil "LeadCare" est un analyseur portable de plombémie qui permet l'analyse grâce à une simple piqûre au bout d'un doigt. Le résultat de la plombémie est obtenu en trois minutes. Son utilisation a été validée, il y a maintenant plus de trois ans, par le Center for Disease Control and Prevention (CDCP) aux USA.

