



HAL
open science

LE CYCLE DU PLOMB

Laurence Lestel

► **To cite this version:**

Laurence Lestel. LE CYCLE DU PLOMB. 14èmes Journées Scientifiques de l'Environnement : l'Eau, la Ville, la Vie, May 2003, Créteil, France. hal-00199344

HAL Id: hal-00199344

<https://hal.science/hal-00199344>

Submitted on 18 Dec 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE CYCLE DU PLOMB

Laurence LESTEL, *CDHTE-CNAM*,
5 rue du Vertbois, Case I 160, 75003 Paris.
Tél : 01.53.01.80.86 ; Fax : 01.53.01.80.24; Courriel : lestel@cnam.fr

Résumé

Le plomb est un métal ancien qui a accompagné tous les développements technologiques majeurs. Comprendre son devenir environnemental contemporain, c'est d'abord écrire son histoire à travers l'évolution de ses usages depuis le XIXe siècle. 18,1 millions de tonnes de plomb sont actuellement stockés en France. Nous indiquons ici quelle méthodologie a été suivie pour modéliser l'ensemble des flux de plomb et déterminer ainsi les lieux de fuites éventuelles vers l'environnement. Nous avons privilégié le milieu hydrographique comme espace de mesure où peut être réalisé le lien entre contamination de l'environnement et activité humaine.

Mots clefs : plomb ; flux ; stocks ; fuites ; réseau hydrographique ; modèle

1. Introduction

Pour se conformer à la directive cadre européenne d'octobre 2000, la France devra répondre d'un « bon état écologique » de ses eaux d'ici 2015. Or, lors de la traversée de l'agglomération parisienne, la Seine se charge en éléments traces, sans que l'origine de tels éléments ne soit clairement comprise (Thévenot, 1998). Depuis une dizaine d'années, le concept de métabolisme industriel a été appliqué à l'analyse de telles situations environnementales (Baccini, 1991 ; Stigliani, 1993 ; Ayres, 2002) : pour retrouver la source des flux conduisant à une dégradation des écosystèmes, il convient d'établir le cycle de vie de ces éléments, c'est-à-dire l'ensemble des flux les concernant depuis leur entrée dans l'espace géographique considéré par voie d'importation, leur transformation en bien d'usage, leur stockage, jusqu'à leur dispersion dans les différents compartiments environnementaux, air, eau, sol ou biomasse (Lestel et Meybeck, 2002). Dans le cadre de ce travail, inclus dans l'axe thématique *Mécanisme des émissions et des transferts de micropolluants* du programme de recherches PIREN-Seine 2002-2005, nous nous sommes intéressés au plomb, métal ancien qui a accompagné tous les développements technologiques majeurs (imprimerie, première révolution industrielle, automobile). Après avoir été un élément incontournable du développement urbain, son usage sous forme de céruse au XIX^{ème} siècle, ou de plomb tétraéthyle au XX^{ème} siècle, a progressivement été interdit du fait de considérations de santé publique. Cette longue histoire du plomb nous permet de disposer de nombreuses données, plus difficiles à réunir pour d'autres métaux.

Dans une première partie, nous présenterons le schéma économique du plomb en France. Cette description qualitative permettra de mettre en évidence le côté urbain du plomb, utilisé mais aussi transformé en ville. Dans une deuxième partie, nous expliciterons la manière dont le

14^{èmes} Journées Scientifiques de l'Environnement : l'Eau, la Ville, la Vie, 12-13 mai 2003, Collection HAL Archives Ouvertes (<http://hal.archives-ouvertes.fr/JSE2003>)

temps a été pris en compte pour décrire le métabolisme du plomb. Nous avons ainsi déterminé la quantité totale de plomb qui s'est accumulé en France depuis le début du XIX^{ème} siècle. Nous avons aussi construit un modèle dynamique pour décrire l'ensemble des flux, basé sur la variation annuelle des stocks, ce qui permet donc de rendre compte de la constitution et du devenir de ces stocks urbains. Dans une troisième partie nous présenterons les options que nous avons retenues pour valider le modèle.

2. Le cycle de vie du plomb

Détecter des flux de plomb vers l'environnement nécessite de s'intéresser à plusieurs niveaux d'informations représentés sur la figure 1 :

- Il s'agit tout d'abord d'identifier les différentes formes chimiques du plomb, plomb métal ou dérivés du plomb, et leur voie de rejet vers l'environnement : ainsi par exemple du plomb tétraéthyle qui, utilisé comme additif de l'essence, est rejeté intégralement dans l'atmosphère ;
- Il convient ensuite de réunir les informations relatives aux secteurs économiques concernés, afin d'évaluer à la fois l'importance de la production mais aussi les politiques mises en œuvre pour développer ce secteur ou en réduire les nuisances ; pour le plomb tétraéthyle, il convient ainsi de décrire les étapes de son interdiction progressive ;
- Enfin, l'origine de ce plomb doit être explicitée, pour identifier le parcours du plomb depuis son extraction jusqu'à sa répartition entre les différents secteurs de transformation puis de ses usages.

Cette description qualitative doit être complétée par l'exploitation de statistiques de production et de consommation, pour lesquelles le contexte dans lequel elles ont été éditées doit être explicité, afin de pouvoir leur attribuer une certaine pertinence.

2.1 Les usages du plomb

Les usages du plomb pour l'année 1971 sont rappelés dans la figure 2. La première utilisation du plomb est la fabrication d'accumulateurs utilisant le plomb sous les formes de métal et d'oxyde. Accompagnant le développement des réseaux urbains, le plomb a été essentiellement utilisé à la fabrication de "demi-produits" : feuilles, plaques et canalisations. Grâce à sa durée de vie exceptionnelle, 10 000 t sont encore utilisées annuellement comme accessoire de couverture des toits (souches de cheminées, chéneaux, recouvrement de balcons...) (Vignes, 1998). Le plomb de chasse est toujours fabriqué par le procédé dit de la "tour" mis au point par Williams Watts à Bristol en 1782 et consistant à faire tomber du plomb fondu d'une hauteur suffisante pour que les billes sphériques se solidifient avant leur arrivée dans les bacs de réception. La France en utilise encore environ 8 000 t par an. Entre 1950 et 1970, plus de 40 000 t de plomb étaient utilisées annuellement pour la protection des câbles électriques et de téléphone avant d'être progressivement remplacé par du polyéthylène. Une part non négligeable de plomb est utilisée sous forme d'alliages pour soudures, à base de plomb et d'étain dont la composition varie de 40 à 70% de plomb. A partir de 1968, l'imprimerie développe le procédé offset, provoquant la disparition des caractères au plomb, effective en 1980.

Le Cycle du Plomb

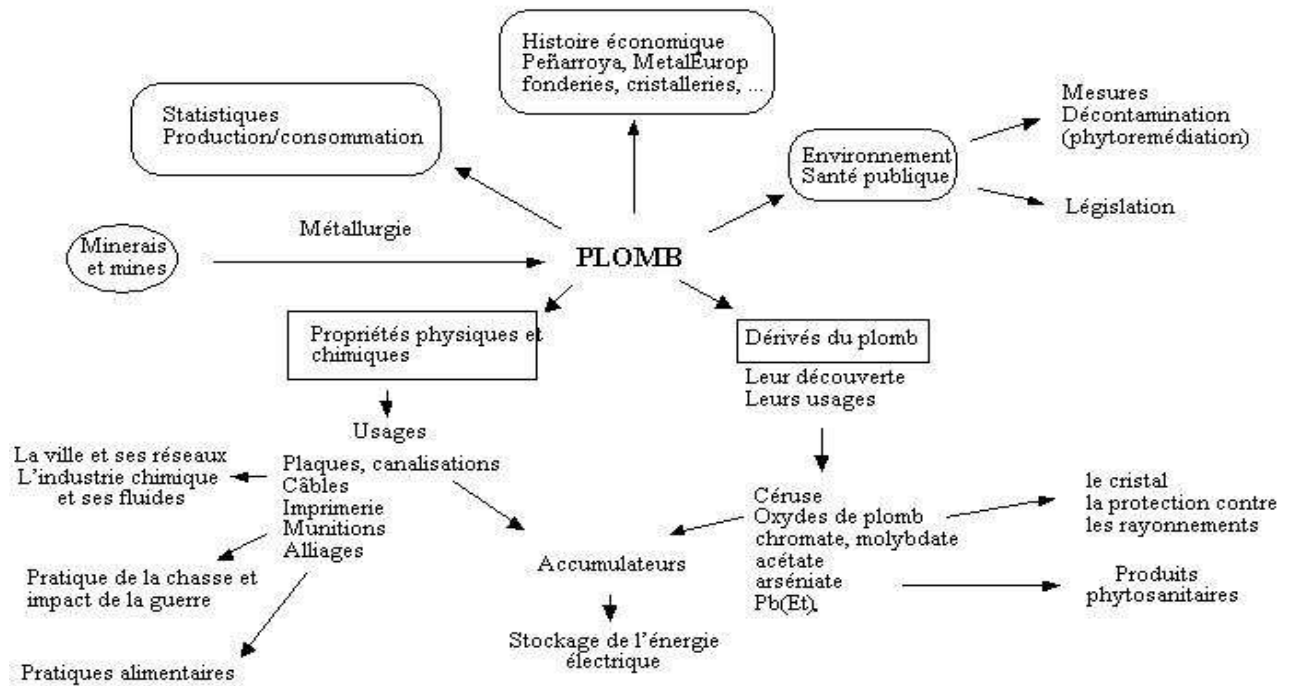


Figure 1 : Niveaux d'informations relatifs au plomb.

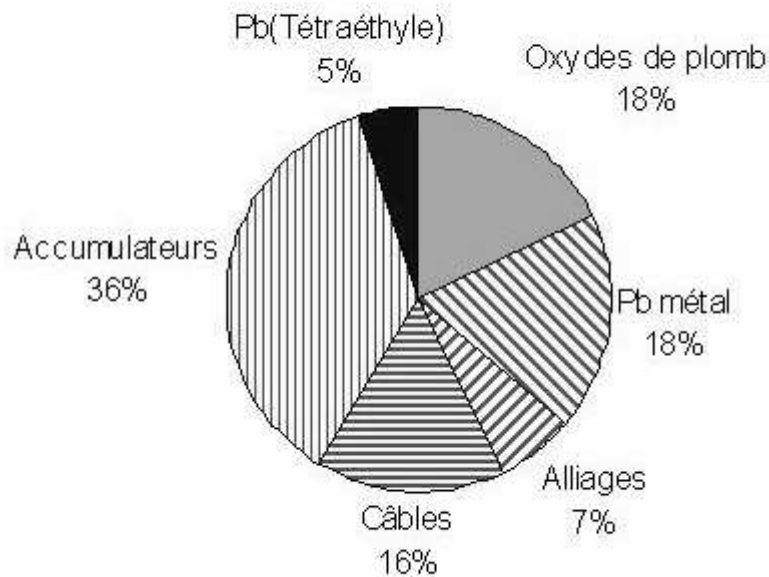


Figure 2 : Répartition des usages du plomb en France en 1971 (243 000 t).

Les dérivés chimiques du plomb d'importance industrielle sont essentiellement les oxydes (litharge, minium), indispensables à la cristallerie ou longtemps utilisés comme pigments. Le chromate de plomb ou jaune de chrome $PbCrO_4$, découvert par Vauquelin en 1809, a servi au marquage horizontal des routes. Le carbonate de plomb, sous la forme du pigment blanc appelé céruse, n'est plus utilisé pour la peinture des bâtiments depuis 1926. Le plomb tétraéthyle est utilisé comme additif de l'essence en France depuis la Deuxième Guerre Mondiale. Il est tenu comme le principal responsable des rejets atmosphériques en plomb jusqu'à son interdiction depuis le 1er janvier 2000. A la fin du XX^{ième} siècle, subsistent essentiellement deux usages du plomb pour lesquels il n'a pas encore été trouvé de substituts satisfaisants : les accumulateurs et les verres spéciaux (cristallerie ou protection contre les rayonnements) contenant des oxydes de plomb.

Les usages du plomb sous sa forme métal ont pour particularité d'engendrer des stocks importants de matières (kilomètres de canalisations dans Paris, câbles électriques ou de téléphone, stocks de caractères d'imprimeries...) en milieu urbain. Seul le plomb de chasse est rejeté dans des terres non anthropisées, zones de chasse ou terres agricoles.

2.2 Le secteur économique du plomb

Les inventaires industriels que nous avons réalisés sur les métiers spécifiques du plomb (métallurgie, fonderies, fabriques et recyclage des accumulateurs, fabriques de câbles, fabriques d'oxyde de plomb et cristalleries, etc.) dans le bassin de la Seine entre 1850 et 2000 ont montré une forte prédominance de Paris et de sa proche banlieue comme lieu de transformation du plomb (Figure 3). A titre d'exemple, la figure 4 indique le nombre de fonderies de plomb présentes dans l'ancien département de la Seine (Paris et sa proche couronne) avant la Deuxième Guerre Mondiale.

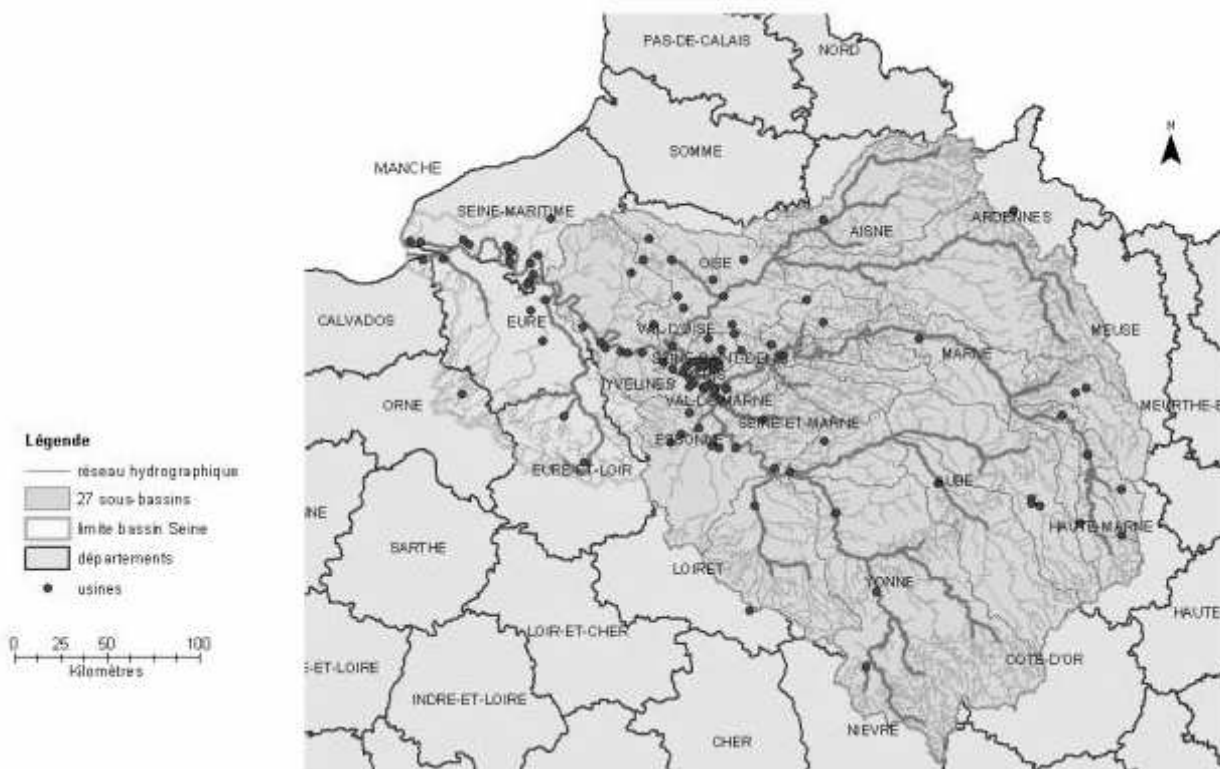


Figure 3 : Communes hébergeant des usines (1875-2000) rejetant du plomb dans le bassin de la Seine.

Le Cycle du Plomb

Beaucoup de ces entreprises sont situées en bord de rivière mais rares sont celles qui sont raccordées à un système de collecte des eaux. Sur les 19 entreprises rejetant du plomb recensées en 1998 dans le bassin de la Seine par le Réseau National de Données sur l'Eau (tous secteurs industriels confondus), 4 seulement sont raccordées à des stations d'épuration (3 à Achères, 1 à la SEU de Reims) (RNDE, 2000).

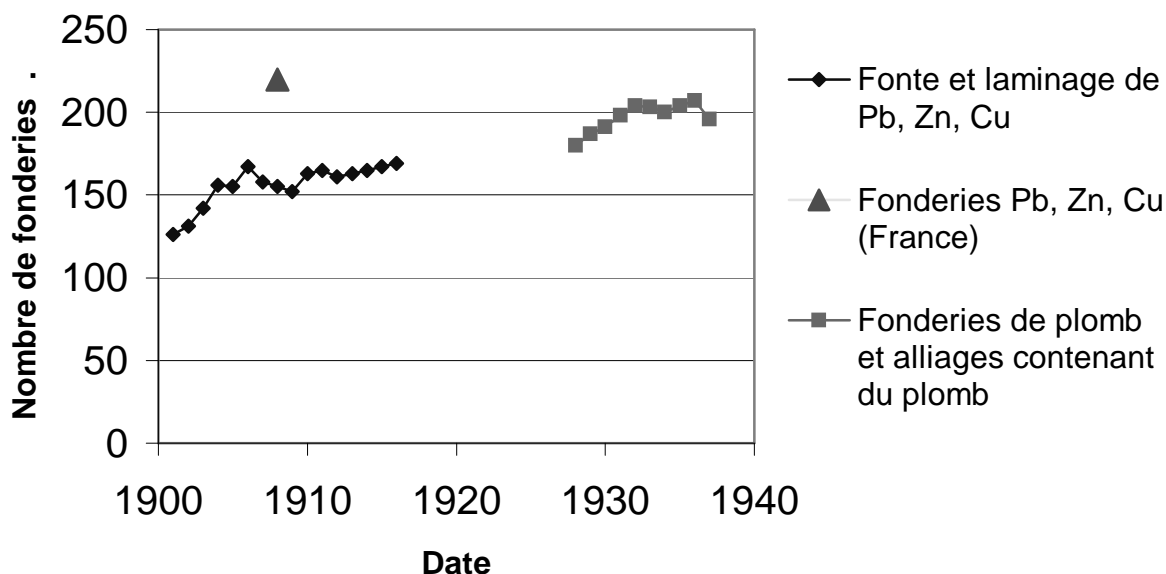


Figure 4. Fonderies de plomb dans le département de la Seine (1901-1937).

3. L'effet du temps

Le suivi de la contamination métallique de la Seine montre clairement une diminution de la teneur en plomb dans les eaux de la Seine en amont de Paris entre 1980 et 2000, la tendance étant cependant moins nette en aval de Paris (Meybeck, 2000). D'autre part, l'évolution des usages du plomb indique que celui-ci est progressivement détrôné par d'autres métaux non ferreux, remplacé par l'acier ou les matières plastiques, voire interdit comme dans le cas du plomb tétraéthyle. Ces deux faits ne doivent pas conduire à considérer que le problème de la contamination métallique des eaux de surface est en passe de se résoudre naturellement. En effet, la consommation totale de plomb est toujours dans une phase ascendante, poussée par une demande croissante en accumulateurs et en verres spéciaux (Figure 5). Même si la part de recyclage du plomb augmente, comme le montre l'écart qui se creuse depuis les années 1970 entre la courbe de la production métallurgique du plomb et celle du plomb de 1^{ère} fusion, ce plomb s'accumule au fil du temps dans le monde anthropisé. Nous avons donc tout d'abord déterminé la quantité de plomb neuf, c'est-à-dire hors recyclage, entrée en France depuis le XIX^{ème} siècle. Puis nous avons intégré cette composante liée au temps au modèle dynamique que nous mettons en place pour décrire le métabolisme du plomb, en basant celui-ci sur la constitution puis le devenir de ces stocks de plomb qui se constituent sur le temps long.

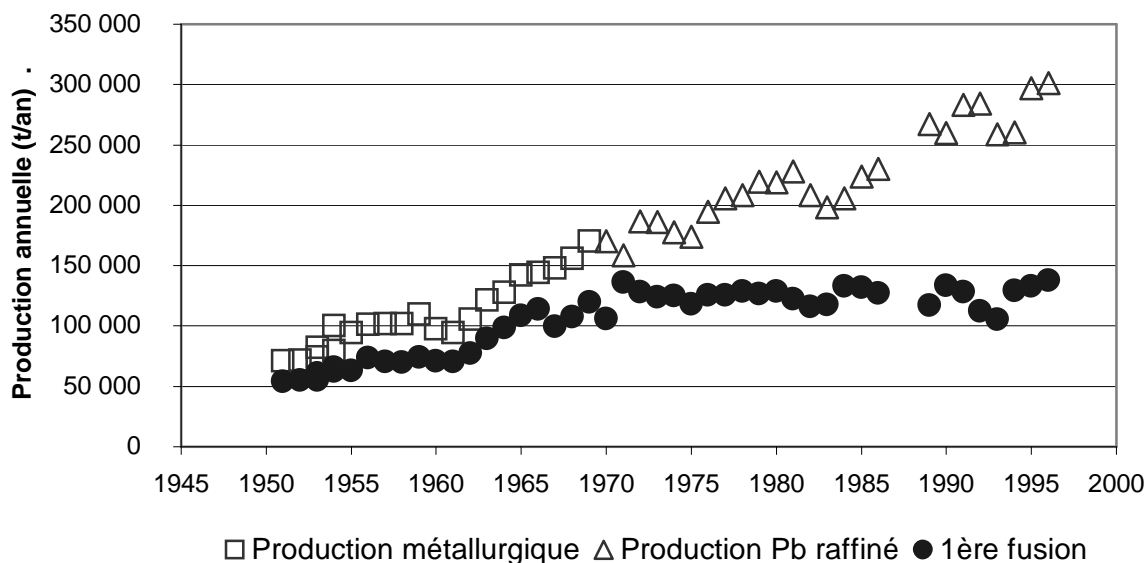


Figure 5 : Production française de plomb, 1950-1996.

3.1 Le stock global de plomb

Etablir la quantité totale de plomb susceptible d'être trouvée en France, quel qu'en ait été son usage, revient à effectuer la somme des apports annuels en plomb neuf (hors recyclage) qui peuvent être établis grâce à des statistiques officielles (*Statistiques de l'Industrie Minérale, Minerais et Métaux*). Ils correspondent à la somme de la production française de plomb (appelée également production métallurgique puis production de plomb affiné) et des valeurs connues d'importation et d'exportation de plomb métal. Pour les apports antérieurs à 1850, nous avons retenu le chiffre de 5,5 millions de tonnes, soit 10% du chiffre mondial proposé par Nriagu (1979). Les flux cumulés sont reportés dans le tableau 1. Pour chaque période, le flux annuel moyen est rappelé afin d'appréhender l'importance de ces flux selon les époques.

Tableau 1: Apport en plomb neuf en France.

Flux annuel moyen (t/an)		Flux cumulé (10 ⁶ t / période)	
1818-1848	15 000	avant 1850	5,5
1850-1870	30 000	1850-1870	0,6
1871-1914	70 000	1871-1914	3,0
1919-1942	105 000	1915-1945	2,7
1946-1976	125 000	1946-1976	3,8
1977-1996	120 000	1977-1996	2,5
Total			18,1

Le Cycle du Plomb

Le chiffre cumulé de 18,1 millions de tonnes reflète les apports totaux de plomb anthropique en France, à l'exclusion du plomb naturellement présent dans le sous-sol, du plomb présent en concentration localement non négligeable dans les anciennes mines françaises, du plomb rejeté lors de la combustion de charbon en contenant un faible pourcentage, à l'exclusion également des apports naturels de plomb par érosion éolienne des roches et sols ou provenant d'émissions de volcans. Ces derniers, estimés à partir de la quantité de plomb retrouvée dans les glaces en Arctique ont de tout temps été négligeables par rapport aux apports anthropiques (Nriagu, 1979). On constate qu'un tiers de ces apports a eu lieu avant 1850, un deuxième tiers correspond à la période de forte industrialisation de la France (1850-1945), un tiers simplement de ces apports correspond à la période récente, période de forte augmentation de la consommation mais aussi d'efforts, manifestes depuis les années 1970, d'économies de matières premières, par recyclage et par réduction des pertes lors des traitements industriels.

3.2 La constitution et le devenir des stocks

Reconstituer l'ensemble des stocks nécessiterait de disposer de séries chronologiques complètes pour un certain nombre de variables clés, ce que ne permet pas la qualité des archives et enquêtes à notre disposition. La deuxième étape de ce travail consiste donc à modéliser l'ensemble des flux. Nous avons retenu une modélisation basée sur la variation annuelle des stocks, c'est-à-dire d'une part sur leur constitution, d'autre part sur leur devenir, exprimé en terme de perte, où ces pertes sont exprimées comme une fraction du stock présent. Des ordres de grandeurs de coefficients de perte peuvent être trouvés dans la littérature (Hawkins, 1995 ; TNO report, 2001).

Pour la modélisation, nous avons défini des objets principaux comme la transformation du plomb, ses usages, ses rejets dans l'environnement, mais aussi la gestion des déchets du plomb (mise en décharge, incinération, devenir des boues des stations d'épuration des eaux usées STEP) (Figure 6). Dans ces objets, nous avons regroupé les flux de plomb entre catégories présentant un même type de profil environnemental. Ce dernier a été déterminé d'une part par la forme chimique du plomb, d'autre part par le mode de dispersion de ce plomb. Ainsi, pour les usages, nous avons distingué le plomb sous sa forme métal du plomb tétraéthyle et des oxydes de plomb, catégorie qui regroupe la plupart des dérivés chimiques du plomb. La catégorie "alliage" a été traitée indépendamment du plomb métal du fait de sa circulation non négligeable sous forme cachée, soudures dans des objets manufacturés par exemple. Des matrices, nécessitant la collecte d'une centaine de données ont été établies pour des années types (1885, 1955, 1971 et 1994). Elles servent de pivots à la validation du modèle.

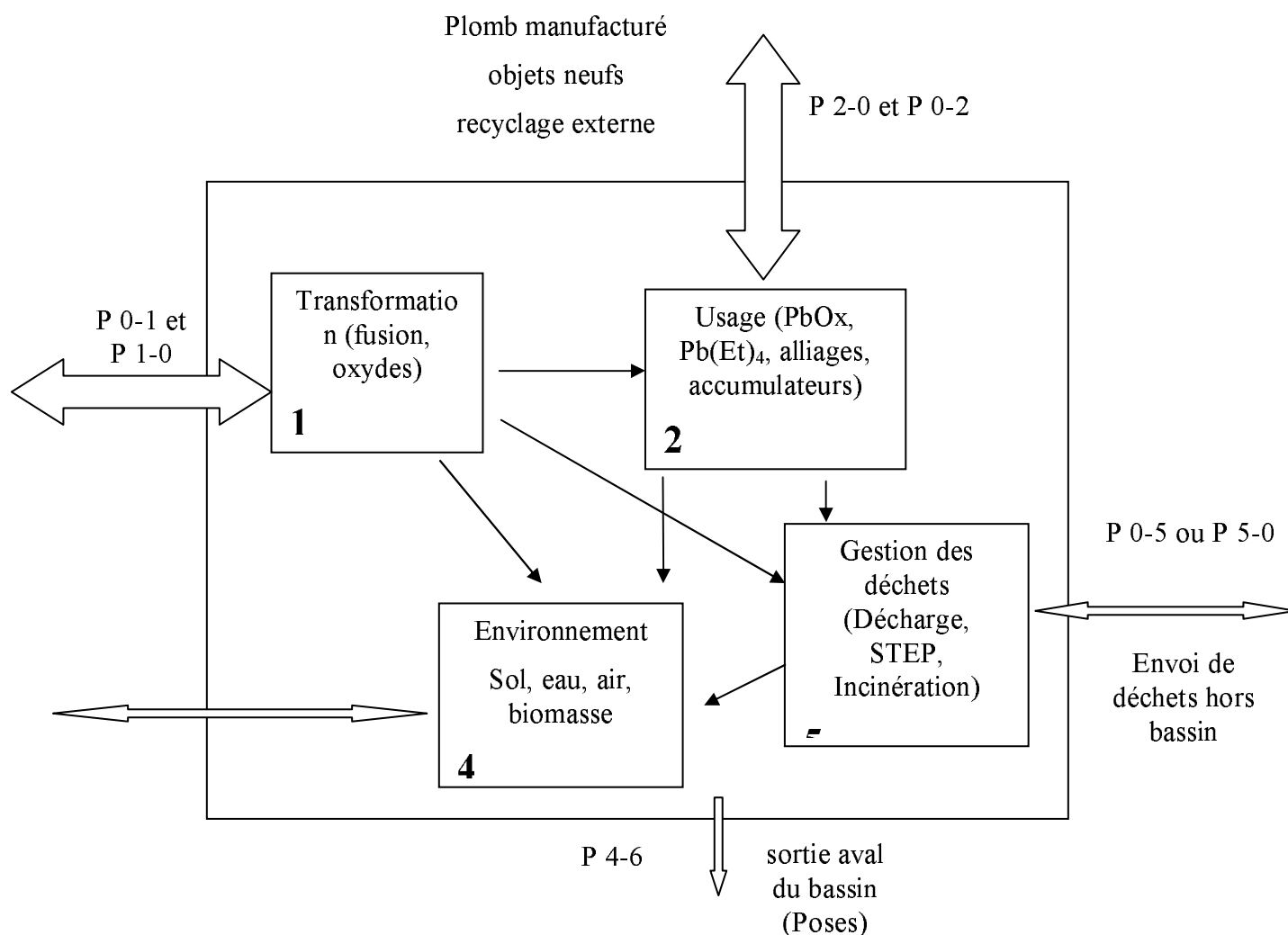


Figure 6 : Schéma des flux entre objets de même devenir environnemental en vue de leur modélisation dans le bassin de la Seine

4. Métabolisme et validation du modèle

A la suite de Stigliani (1993), nous avons privilégié le milieu hydrologique comme espace de mesure où peut être réalisé le lien entre contamination de l'environnement et activité humaine. Ainsi la validation de notre modèle passe par une corrélation des valeurs simulées avec les mesures de plomb récoltées sur le terrain depuis maintenant une vingtaine d'années : mesures atmosphériques du CITEPA mais surtout mesures de plomb rassemblées par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, souvent à la sortie de sous-bassins versants. Toutes nos données sont donc en cours de spatialisation sur l'ensemble de 27 sous-bassins versants du Bassin de la Seine.

Une des grandes difficultés de l'établissement d'un métabolisme de matière est de prendre en compte les petits stocks épars, provenant d'usages trop faibles pour être identifiés économiquement ou de décharges disséminées. Nous commençons à avoir une idée de leur importance, par différence entre stock total et stocks identifiés. Dans le modèle que nous

Le Cycle du Plomb

proposons, ces stocks mineurs, qui sont à l'origine de flux de perte, seront spatialisés sous forme de nuages de plomb d'intensité égale sur l'ensemble du territoire considéré. Ces nuages se superposeront aux points noirs représentés par les rejets locaux (liés à l'activité d'une usine par exemple) et aux nuages de rejets liés aux usages qui seront quantifiés par proportionnalité à la population du bassin (ainsi par exemple des rejets du plomb tétraéthyle). Nous nous baserons dans ce dernier cas sur l'évolution de la population du bassin de la Seine qui a été déterminée entre 1806 et 1999 par Motte *et al.* (2002).

5. Conclusion

Etablir le métabolisme d'un élément pour en comprendre son devenir environnemental s'inscrit dans un courant de recherche bien reconnu en Europe d'une histoire de l'impact écologique des flux de matières générés par l'urbanisation et l'industrialisation croissante des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. Notre travail, basé actuellement sur le plomb, comprend deux spécificités : il tient compte du temps long par la quantification des stocks, quelques millions de tonnes, qui se sont accumulés depuis le début du XIX^{ème} siècle et dont il convient d'établir le devenir. D'autre part, la modélisation entreprise est validée par une approche spatiale, où le milieu hydrologique est considéré comme l'espace où peut être réalisé le lien entre contamination de l'environnement et activité humaine. Ainsi, ce que la Seine recueille aujourd'hui en traversant l'agglomération parisienne reflète certainement la mémoire de l'activité industrielle de Paris, premier centre de transformation du plomb en France jusqu'à la Deuxième Guerre Mondiale, et première mine de plomb française si l'on se réfère à l'importance de ce stockage urbain du plomb.

Bibliographie

- Ayres R.U. & Ayres L.W. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, Northampton MA, USA, 680 p.
- Baccini P. & Brunner (1991). *Metabolism of the anthroposphere*, Springer Verlag.
- Hawkins J.L., Sheppard M.I. & Jorgensen S.S. (1995). Predicting soil lead migration: how can ancient church roofs help? *Sci. Total Env.*, Vol. 166, 43-53.
- Lestel L. & Meybeck M. (2002), Cycle des métaux et métabolisme industriel. *Métaux lourds : des bilans en mutation*, Rapport PIREN Seine, fév. 2002, 55-59.
- Meybeck M. Horowitz A., Grosbois C., Ficht A., Cun C., Beaupère F., Saadoum M. & Quenea K. Evolution de la contamination métallique du bassin médian et aval de la Seine (1980-2000). *Rapport Piren Seine 2000*, A.53-A.73.
- Motte C., Brunstein D. & Théry S. (2002). Evolution démographique du bassin de la Seine. *Analyse rétrospective du système Seine*, Rapport PIREN Seine, fév. 2002.8-9.
- Nriagu, J.O. (1979). Global Inventory of Natural and Anthropogenic Emissions of Trace Metals to the Atmosphere. *Nature*, Vol. 279, 409-411.
- RNDE (2000). *Les principaux rejets d'eaux résiduaires industrielles, Données 1998*. MATE, Paris.
- Statistique de l'Industrie Minérale, Résumé des travaux statistiques de l'administration des Mines, Paris, 1847-1925.*
- Minerais et Métaux, Statistiques, 1926-1992*

14^{èmes} JSE : l'eau, la ville, la vie (12-13 mai 2003)

Stigliani W.M., Jaffe P.R. (1993). *Industrial metabolism and river basin studies: a new approach for the analysis of chemical pollution*. Princeton University, International Institute for Applied Systems Analysis, 45 p.

Thévenot D., Meybeck M., Chetérkoff A. & Chevreuil M. (1998). Métaux : sources multiples et accumulation. In Meybeck M., de Marsily G. & Fustec E., *La Seine en son bassin*, Elsevier, Paris, 749 p.

TNO Report, *Risks to health and the environment related to the use of lead in products*, 2001.

Vignes J.L. (1998). *Données sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux*, Centre de Ressources Pédagogiques en Chimie, Union des Physiciens, Société Française de Chimie, Paris, 299-305.

3-JSE-2003-Manuscrit-Lestel-HAL-2007-12-18.doc (version du 0 XXX 0000)