

3. Le cycle du plomb en France de 1850 à 2003.

Goiffon Cécile¹, Lestel Laurence¹, Mouchel Jean-Marie².

1 Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, CNAM, 5 rue du Vertbois, 75003 Paris, France,

2 Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Eau, la Ville et l'Environnement (Cereve), UMR-MA 102, ENPC, 6-8 Avenue Blaise Pascal, Champs sur Marne, 77455 Marne-La-Vallée Cedex 2, France.

1. Introduction.....	1
2. Sources des données :	1
2.1. Statistiques	1
2.2. Douanes	2
3. L'interpolation sous contraintes.....	5
3.1. Le schéma global	5
3.2. Les contraintes	6
4. Résultats du modèle :	7
5. Conclusion.....	9
6. Bibliographie.....	9

1. Introduction

En complément du travail entrepris sur le bilan de la circulation des métaux dans le bassin de la Seine (Thévenot et al., 2006) et sur son évolution temporelle (Meybeck et al., 2006) (Axe 4), nous avons entrepris de décrire la circulation du plomb dans l'anthroposphère à l'échelle de la France de 1850 à 2003. Pour ceci, nous avons créé une interpolation des flux de plomb à l'aide de contraintes établies afin d'optimiser le cycle global de circulation de la matière.

Ce travail combine toutes les informations, données, statistiques récoltées ainsi que tous les schémas spécifiques que nous avons pu présenter ces trois dernières années. Les statistiques d'import et d'export récupérées auprès du service des douanes nous ont permis de faire circuler le plomb non plus d'un seul bloc mais par le biais des produits manufacturés.

Les résultats de cette interpolation nous permettent de déterminer l'importance et l'évolution des stocks de plomb rencontrés en différents points du cycle (stocks des différents produits manufacturés en usage, du plomb stocké dans les Centres d'Enfouissement Technique et les décharges, et du plomb retenu dans le sol naturel et les sédiments), ainsi que l'évolution temporelle des flux (déchets, etc.).

2. Sources des données :

2.1. Statistiques

Nous avons utilisé des statistiques de rejets industriels dans le milieu naturel ou dans le réseau des eaux usées détenues par l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN), de rejets atmosphériques du Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA). (Bouzidi et al., 2003). Nous avons également récolté des données par le biais d'études spécifiques : études dans des fonderies de plomb, une cristallerie (Bouzidi et al., 2003), études sur les tubes cathodiques et les déchets (Goiffon et al., 2004).

Les schémas officiels ne sont pas des vrais schémas de circulation de la matière, mais plutôt des bilans artificiels en conformité avec des schémas type OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique). Les statistiques ILZRO (International Lead and Zinc Research Organization) ont été collectées et nous ont permis d'obtenir des séries de données continues de production de plomb en sortie d'usine.

Nous avons réalisé dans cette étude un cycle de la matière en utilisant des données économiques officielles transcrites en flux de matières.

2.2. Douanes

Des données sur les importations et les exportations de produits spécifiques contenant du plomb sont disponibles au Service Statistique des Douanes. Des Annuaires statistiques du commerce extérieur de la France sont consultables de 1913 à nos jours (ceux de la Première Guerre Mondiale étant manquants). Nous avons ciblé certains produits contenant du plomb ; les statistiques des Douanes donnant des tonnes de produits, nous les avons transformés en tonnes de plomb (Tableau 1).

Tableau 1 : Pourcentages de plomb dans certains produits.

Liste produits	Pourcentage de plomb	Sources
Produits chimiques :		
Oxydes (PbO)	90%	} Vignes, 1997 et INRS, 1998.
Chlorures (PbCl ₂)	80%	
Sulfates (PbSO ₄)	69%	
Nitrates (Pb(NO ₃) ₂)	63%	
Arséniates (Pb ₃ (AsO ₄) ₂)	69%	
Carbonates (PbCO ₃)	79%	
Chromates (PbCrO ₄)	64%	
Plomb sous forme brute	100%	
Ouvrages : barres, fils, tables, feuilles, tubes, tuyaux et autres ouvrages	100%	
Caractères d'imprimerie	70%	Wikipedia, 2006
Accumulateurs	60%	Vignes, 1997.
Verres au plomb : postes (téléviseurs et moniteurs), tubes cathodiques, objets en cristal	Postes : 4% Tubes cathodiques : 8% Cristal : 24%	Goiffon et al., 2004, et Vignes, 1997.
Accumulateurs hors d'usage	60%	Vignes, 1997.
Munitions	Cartouches : 63% Chevrotines et plombs de chasse : 98%	ONCFS, 2004. Techniques de l'Ingénieur, 1993

Ces données, une fois récoltées, ont été traitées et analysées (Figures 1 à 4). Nous obtenons ainsi une évolution temporelle de ces flux de plomb. Nous pouvons remarquer que les imports et les exports cumulés de produits contenant du plomb augmentent au cours du temps.

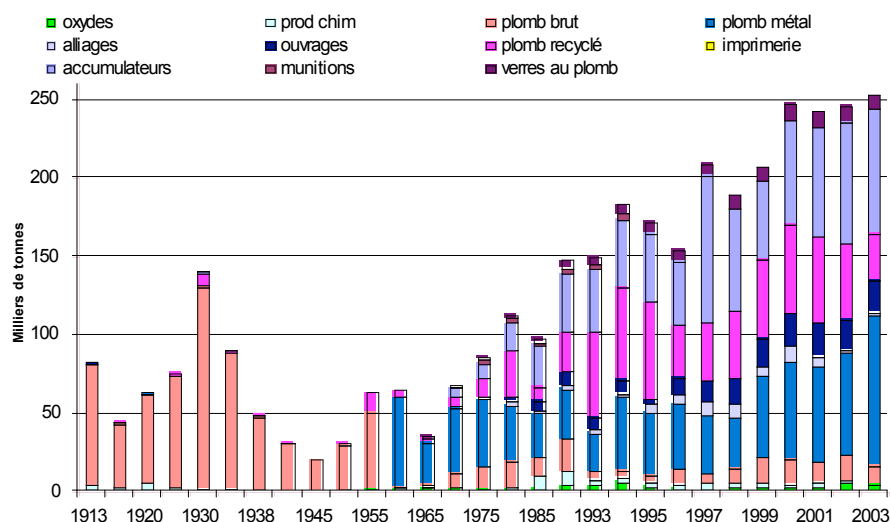


Figure 1 : Imports d'objets contenant du plomb entre 1913 et 2003.

Nous pouvons voir sur la Figure 1 d'importantes importations de plomb brut avant les années 60, ainsi qu'une nette augmentation des imports de plomb métal et de plomb recyclé à partir des années 60. A partir des années 70, nous pouvons observer une augmentation des imports d'accumulateurs.

Les imports les plus importants sont ceux de plomb brut avant 1960 et ceux de plomb métal, plomb recyclé et d'accumulateurs après.

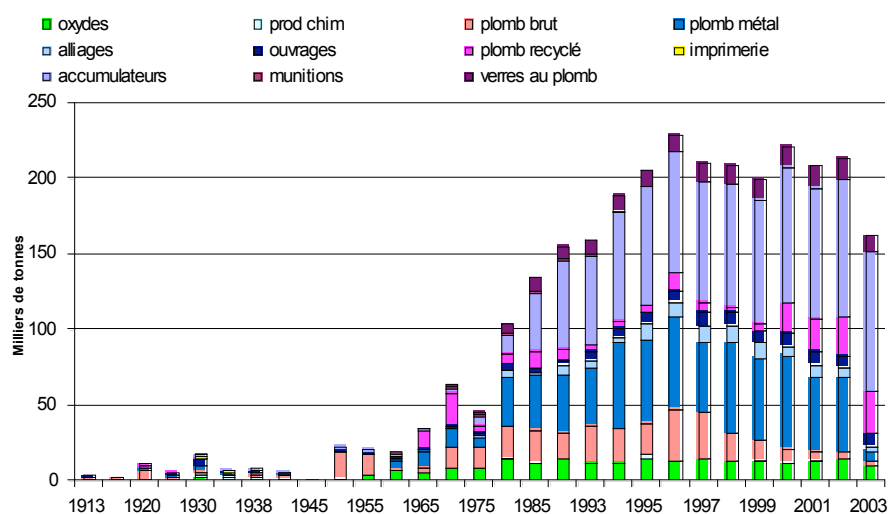


Figure 2 : Exports d'objets contenant du plomb entre 1913 et 2003.

La Figure 2 montre une augmentation importante des exports de produits au plomb dans les années 70 et une diminution de ceux-ci en 2003. Les exports les plus importants sont ceux de plomb métal et d'accumulateurs à partir des années 60.

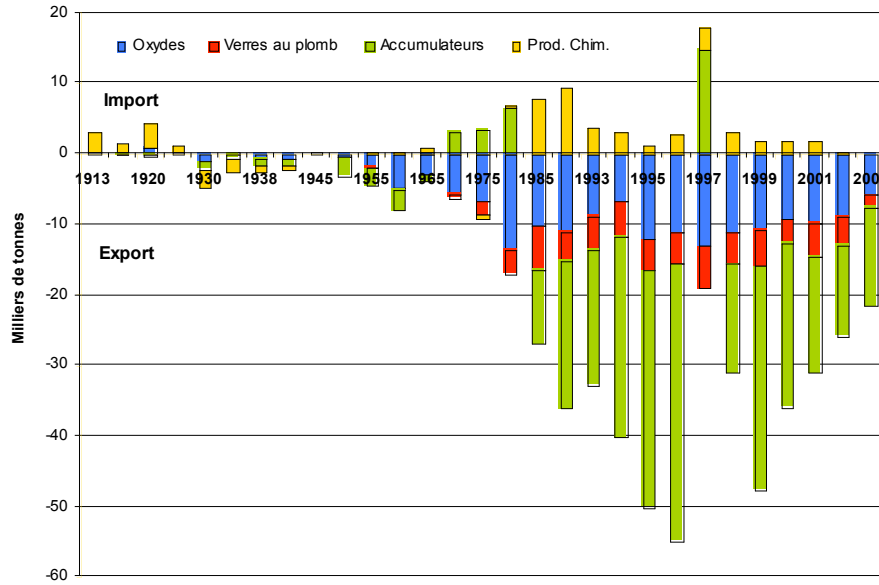


Figure 3 : Représentation des importations et des exportations d'oxydes, de verres au plomb, d'accumulateurs et de produits chimiques entre 1913 et 2003.

Nous pouvons voir, sur la Figure 3 ,que la France est exportatrice d'oxydes et de verres de plomb, ainsi que d'accumulateurs après 1950 et importatrice, en moins grande quantité, de produits chimiques.

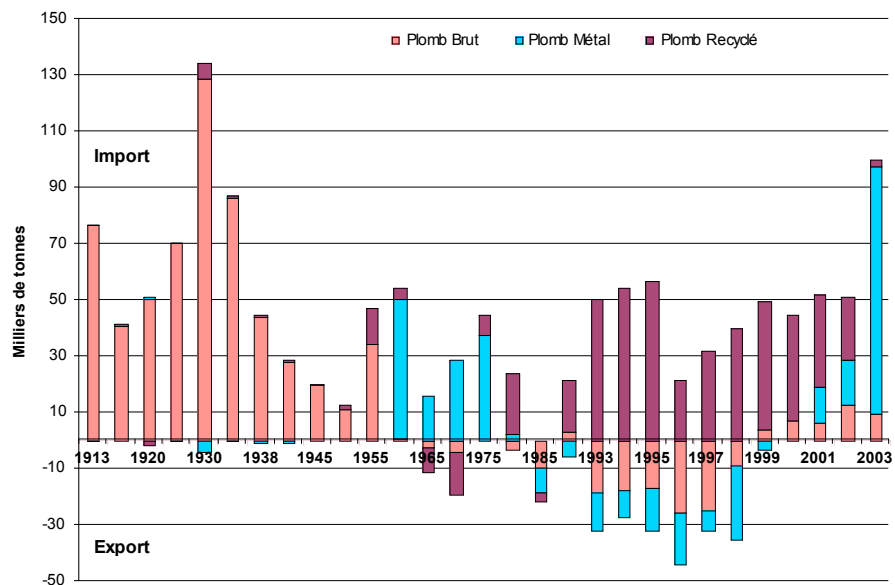


Figure 4 : Représentation des importations et des exportations de plombs brut, métal et recyclé entre 1913 et 2003.

Sur la Figure 4, les imports de plomb brut sont très importants avant les années 60 (maximum de 128 000t). Après la France devient exportatrice mais en moins grande quantité (maximum de 26 000t). De plus, la France importe du plomb recyclable destiné à être recyclé à partir de 1980.

3. L'interpolation sous contraintes

3.1. Le schéma global

Le schéma global de l'interpolation (Figure 5) a été construit suivant trois niveaux :

- Les flux de matières issus des différentes usines produisant des produits manufacturés contenant du plomb : les demi-produits (ouvrages en plomb et plombs de chasse), les oxydes et produits chimiques, les verres spéciaux (cristal et tubes cathodiques), les accumulateurs, le plomb tétraéthyle, les alliages, les câbles et les caractères d'imprimerie.
- Les stocks de plomb selon les usages de ces produits, leur durée de vie et leur capacité à être recyclé.
- Le devenir environnemental des produits devenus des déchets.

Tous les cycles des produits de plomb ont été construits sur le même modèle : leur production en sortie d'usine, les importations et exportations de produits manufacturés, les stocks de produits en usage, la répartition des produits allant être recyclés et ceux suivant la filière des déchets.

Suivant les procédés de gestion des déchets (incinération, stockage), de traitement des eaux des stations d'épuration (step), de gestion des boues de traitement (incinération, épandages sur les sols agricoles), etc. le plomb circule et se retrouve stockés pour plusieurs dizaines d'années dans les « CET » (Centres d'Enfouissement Technique) comprenant aussi les décharges sauvages et réglementées, le sol naturel (comprenant les sols agricoles) et les sédiments où est stocké tout le plomb sous forme particulière, qu'il reste dans des réservoirs de sédiments (y compris matériaux de dragage) ou qu'il soit entraîné par la rivière.

Le plomb recyclable effectivement recyclé est retraité, il redevient du plomb brut puis du plomb métal qui est dispersé vers les différentes usines produisant des objets en plomb.

Les usines produisent également des déchets qui suivent la même filière que les objets en usage devenus des déchets et des rejets vers l'atmosphère, l'hydrosphère, les stations d'épuration. Dans un souci de simplification, nous avons choisi de regrouper l'ensemble de ces fuites sur la boîte qui centralise l'ensemble du plomb à devenir industriel.

Le flux allant de la boîte « usine de plomb brut » vers la boîte « plomb métal » représente la deuxième fusion du plomb, celui allant de « minerais » vers « plomb métal » représente la première fusion du plomb. Le sol urbain définit dans notre étude, la surface imperméabilisée des villes et constitue donc un stock nul de plomb. Les demi-produits de plomb regroupent les ouvrages (barres, fils, tables, feuilles, tubes, tuyaux et autres) et les plombs de chasse. Les produits chimiques contenant du plomb sont : les chlorures, les sulfates, les nitrates, les arsénates, les carbonates, les chromates. Les verres au plomb comprennent les objets en cristal (bouteilles, verrerie de table et de cuisine) ainsi que les tubes cathodiques des moniteurs d'ordinateurs et d'appareils de télévision couleur. Tant que ces objets sont utilisés ou conservés par leurs propriétaires, ils restent dans les stocks d'usage dont ils ne sortent qu'en fonction de leur durée de vie moyenne. Ils sont alors soit recyclés, soit suivent la filière des déchets.

Ce schéma sert de base à l'interpolation qui dispose ainsi de 770 variables (flux et stocks non nuls).

4. Résultats du modèle :

Cette interpolation a fonctionné sur un pas de temps de 10 ans, entre 1940 et 2000. Nous pouvons déterminer grâce à elle les stocks non nuls de plomb (produits en usage, sol naturel, « CET », sédiments) et les différents flux de plomb.

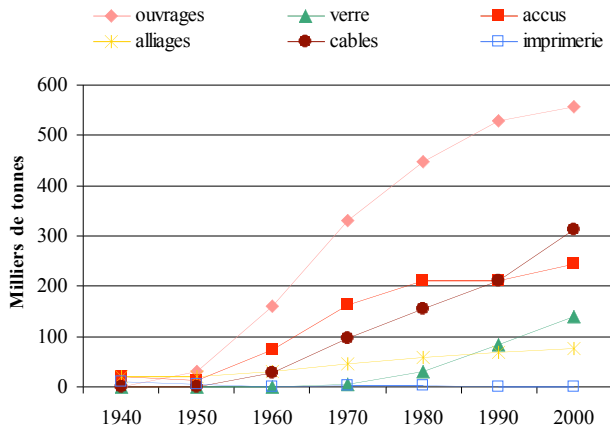


Figure 6 : Stocks d'objets en plomb

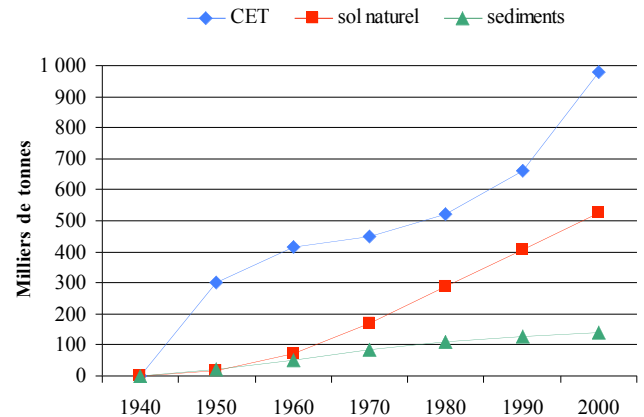


Figure 7 : Stocks environnementaux de plomb

Les stocks de produits en usage contenant du plomb sont représentés en Figure 6. Les ouvrages constituent le stock le plus important, ceci est dû à leur longue durée de vie. Tous les stocks augmentent avec le temps. Les stocks environnementaux de plomb sont en Figure 7. Les « CET » (comprenant les décharges) sont les stocks les plus importants (1 Mt), viennent ensuite le sol naturel et les sédiments.

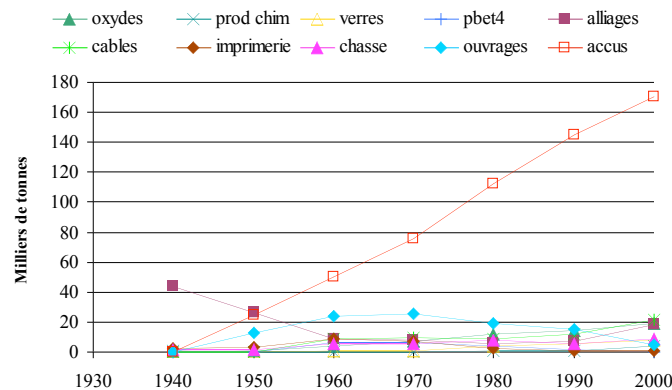


Figure 8 : Productions françaises d'objets en plomb

Pour mémoire, nous représentons Figure 8 les productions françaises en sortie d'usine des produits manufacturés telles que rendues par l'interpolation et qui sont globalement conformes aux données saisies (voir Figure 9 et Figure 10). On constate cependant que pour l'année 1940 pour laquelle n'existent que peu de données, l'interpolation a conduit à des tonnages manifestement surestimés de production d'alliages. De même, si l'on constate un bon accord entre les courbes provenant des données statistiques et issues de l'interpolation correspondant aux flux de première et de deuxième fusion (Figure 9), l'interpolation ne prend pas bien en compte la forte augmentation de production de plomb tétraéthyle dans les années 1970. Il conviendrait probablement d'interpoler les données avec un pas de temps plus réduit (5 ans).

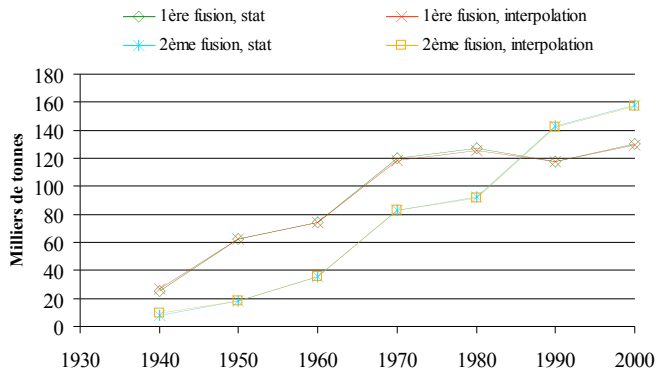


Figure 9 : Comparaison entre les données statistiques et les données de l'interpolation des flux de première et deuxième fusion

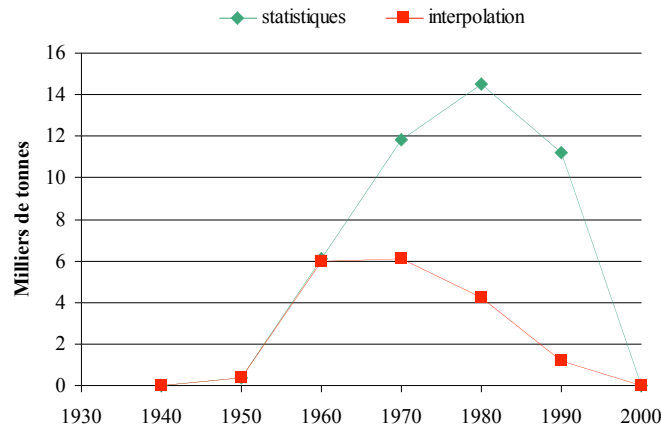


Figure 10 : Comparaison entre les données statistiques et les données de l'interpolation de la production française de plomb tétraéthyle.

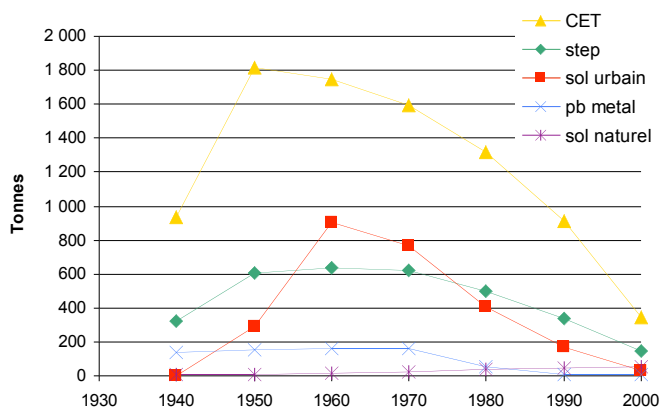


Figure 11 : Fuites de plomb vers l'hydrosphère.

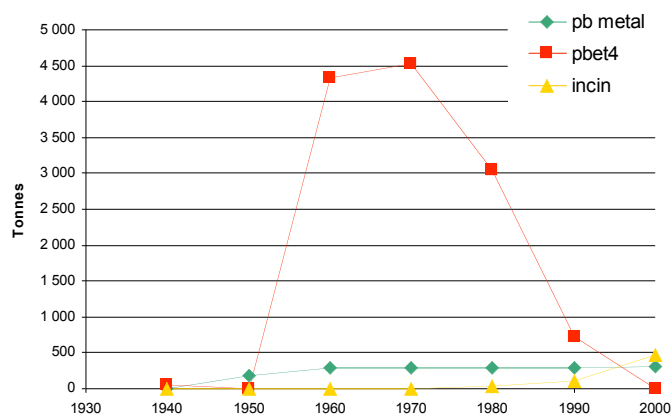


Figure 12 : Fuites de plomb vers l'atmosphère.

Les fuites de plomb vers l'hydrosphère (Figure 11) montrent le poids très élevé des fuites de plomb provenant des « CET ». Les fuites de plomb vers l'atmosphère (Figure 12) indiquent que la fuite la plus importante provient du Pbet4. Elle augmente jusqu'en 1970 et diminue ensuite progressivement, ce qui est en accord avec la consommation de Pbet4. .

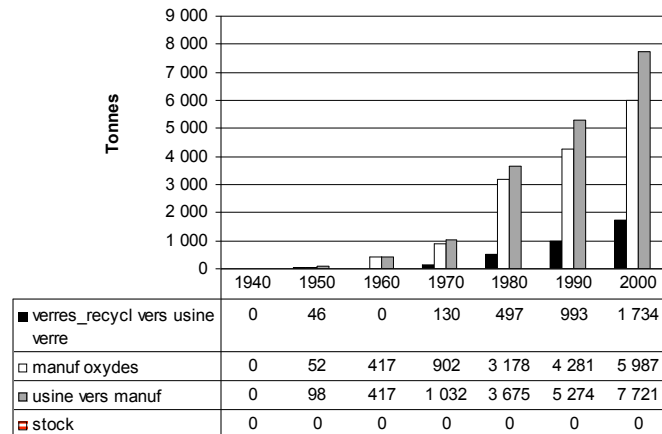


Figure 13 : Représentation des flux entrants et sortants au niveau du stock nul intitulé « usine Verres ».

Afin de tester le bon fonctionnement de l'interpolation, nous avons vérifié la somme des flux entrants et sortants d'un stock défini comme nul. La Figure 13 représente ces sommes pour le stock « usine_verres »(cf. Figure 5) : la somme des deux flux entrant (noir et blanc) est égale au flux sortant (gris).

5. Conclusion

Cette étude est la première représentation exhaustive des bilans de circulation du plomb en France, comprenant la production, les usages et les fuites vers l'environnement. L'interpolation nous permet de déterminer des valeurs manquantes comme les stocks d'objets en plomb, les stocks de plomb dans l'environnement, ainsi que le poids relatif des différentes fuites vers les compartiments environnementaux (atmosphère et hydrosphère).

Néanmoins, l'interpolation peut encore être améliorée. Nous rencontrons certains problèmes au niveau de l'estimation de stocks initiaux en 1940 et de la prise en compte des années creuses dues à la Seconde Guerre Mondiale. Il conviendrait que nous testions systématiquement le poids de chacune des contraintes pour mieux cerner les répercussions des marges d'erreurs des données sur l'évolution des flux et des stocks.

Après validation de l'interpolation au niveau de la France, échelle à laquelle existent les statistiques, nous effectuerons un passage au Bassin de la Seine en considérant le rapport de population pour les stocks et flux d'usage, et le rapport du poids industriel pour les flux de production. Il est à noter que les imports/exports vers la boîte externe comprendront alors la somme des imports/exports vers l'étranger et des « imports/exports » du reste de la France (hors bassin) qui rendront compte des échanges entre le bassin de la Seine et le reste de la France.

6. Bibliographie

Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN), <http://www.eau-seine-normandie.fr/>

Annuaire statistique du commerce extérieur de la France, Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie et Service Statistique des douanes, 1913 à nos jours.

Bouzidi Y., Goiffon C., Guéguen Y., Lestel L., Mouchel J.M. (2003). Cycle de vie du plomb dans l'anthroposphère Seine. Rapport PIREN Seine 2003, axe 4 : micropolluants, action 4.3.1.

Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), <http://www.citepa.org/>

INRS (1998). Plomb et composés minéraux. Fiche toxicologique n°59.

Goiffon C., Lestel L., Mouchel J.M., Herlem A., Bouzidi Y. (2004). Cycle de vie du plomb dans l'anthroposphère Seine. Rapport PIREN Seine 2004, axe 5 : dynamiques lentes, action 5.2.1.

International Lead and Zinc Research Organization (ILZRO), <http://www.ilzro.org/home.htm>

Meybeck M., Lestel L., Bonté P., Moilleron R., Colin J.L., Rousselot O., Hervé D., de Pontevès C., Grosbois C., Thévenot D. R. (2006) Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005). Soumis à publication.

Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) (2004). Les cartouches sans plomb – Guide de l'armurier.

Techniques de l'Ingénieur (1993). Caillerie J.L., Wilmotte F. Plomb et alliages de plomb. Dossier M510.

Thévenot D. R., Moilleron R., Lestel L., Gromaire M.C., Rocher V., Cambier P., Bonté P., Colin J.L., de Pontevès C. et Meybeck M. (2006). Seine River basin: Tentative budget of metal pathways and river export (1994-2003). Soumis à publication.

Vignes J.L. (1997). Données sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux. 7^{ème} édition.

WIKIPEDIA : l'Encyclopédie libre (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Typographie>; modifié le 4 février 2006).