



HAL
open science

La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement

Aurélien Gouzy, Géraldine Ducos

► To cite this version:

Aurélien Gouzy, Géraldine Ducos. La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement. *Air pur*, 2008, 75, pp.6-10. ineris-00961930

HAL Id: ineris-00961930

<https://ineris.hal.science/ineris-00961930>

Submitted on 20 Mar 2014

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.

GOUZY AURELIEN*, DUCOS GERALDINE**
INERIS / DECI / EDEN
Parc Technologique ALATA
60550 Verneuil-en-Halatte

* aurelien.gouzy@ineris.fr

03 44 61 81 93

** geraldine.ducos@ineris.fr

03 44 55 81 49

LA CONNAISSANCE DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES : UN DEFI POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

I – RESUME

Les éléments traces métalliques (ou ETM) ont été ou sont encore utilisés dans de très nombreuses applications (industrielles, médicales, agricoles,). Ces usages ont pu entraînés le relargage dans l'environnement d'une partie des quantités utilisées de certains de ces éléments. Or ces ETM peuvent présenter à la fois une importante persistance dans le milieu naturel et une toxicité et/ou écotoxicité avérée. La gestion de la présence de ces éléments dans tous les compartiments de l'environnement (eau, air et sol) constitue donc un défi qui se heurte souvent à la disponibilité, l'exhaustivité ou la justesse des données.

Dans ce cadre, et pour certains éléments traces métalliques, l'INERIS a mené un travail de compilation sur les sources de contamination, les process industriels les mettant en jeu, les différentes possibilités d'abattement des rejets et leurs coûts, ...

II – CONTEXTE

La notion « d'éléments traces métalliques » (ou ETM) est mal définie, néanmoins, celle-ci se substitue peu à peu à celle de « métaux lourds » (Miquel, 2001). Par ce terme générique « d'éléments traces métalliques » on désigne des métaux et métalloïdes réputés toxiques et dont la teneur moyenne dans les sols est inférieure à 1g.kg^{-1} .

Dans le cadre de cet article nous considérerons comme éléments traces métalliques l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se) et le zinc (Zn). Cette liste de neuf éléments a été proposée dans le rapport 42 de l'Académie des Sciences (1998) comme liste des éléments traces à risques pour la santé humaine.

Quoi qu'il en soit, le développement de nos sociétés industrielles est très lié à la découverte et à l'utilisation de métaux. Ainsi, la consommation de métaux a augmenté de 300 % dans les cinquante dernières années et les relargages anthropogéniques d'éléments métalliques tels que Pb, Hg, Zn, Cd, Cu et Cr ont été multipliés par trois, depuis le début de l'ère industrielle (Rollin et Quiot, 2006).

Après la libération de ces ETM dans l'environnement suite à leur emploi direct (nickel et cadmium dans les accumulateurs Ni-Cd par exemple) ou comme sous-produits (libération de mercure lors de la combustion du charbon par exemple), ces éléments peuvent se retrouver :

- dans l'air ;
- dans les eaux ;
- dans les sols et les sédiments ;
- dans les organismes végétaux et animaux.

De plus, chacune de ces « boîtes » de l'environnement peut à son tour entraîner la contamination d'une autre boîte. La figure 1 illustre ainsi de façon très simplifiée le cycle des éléments traces métalliques depuis leurs émissions jusqu'à l'exposition humaine.

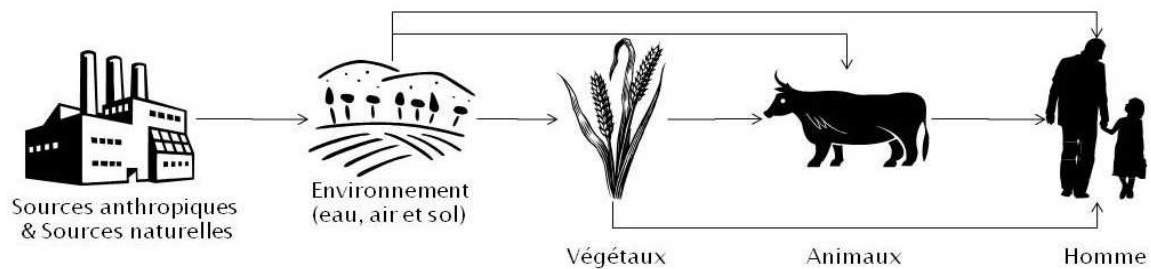


Figure 1 : Cycle simplifié des éléments traces métalliques depuis les émissions jusqu'à l'exposition humaine.

Enfin, une des particularités de ces éléments est d'entraîner des effets majeurs sur la santé humaine (caractère toxique des substances) et/ou sur les écosystèmes (caractère écotoxique des substances) en cas d'exposition (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Effets majeurs toxiques et écotoxiques des éléments traces métalliques (Sparks, 1998).

ELEMENT TRACE METALLIQUE	EFFET(S)
As	Toxique, possible cancérigène
Cd	Hypertension, dommages sur le foie
Cr	Cancérigène sous forme de Cr(VI)
Cu	Peu toxique envers les animaux, écotoxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés
Hg	Toxicité chronique et aiguë
Ni	Allergies de peau, maladies respiratoires, possible cancérigène
Pb	Toxique
Se	Essentiel à faibles doses, Toxique à doses élevées
Zn	Ecotoxique pour les végétaux à de fortes teneurs

Pour plus d'informations au sujet des effets sur l'homme mais aussi sur l'environnement, le lecteur pourra se référer notamment aux fiches toxicologiques de l'INERIS. Ces documents sont téléchargeables depuis le site de l'INERIS (www.ineris.fr).

L'usage courant des ETM et les risques associés à leur utilisation a entraîné une évolution de la législation. Parmi les textes les plus représentatifs, citons par exemple la Décision 2455/2001/CE du conseil Européen modifiant la Directive Européenne sur l'Eau 2000/60/CE qui identifie trois métaux (Cd, Pb, Hg) comme des "substances dangereuses prioritaires". Ces substances sont soumises à un objectif de rejet zéro dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

Face à des objectifs ambitieux de cet ordre, il est nécessaire d'acquérir des connaissances sur les substances avant d'envisager une action de réduction des émissions. Le travail mené dans ce sens par l'INERIS avec le soutien financier des services de l'Etat ainsi que ceux du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) s'oriente vers :

- l'analyse directe des sources de contamination (les rejets) ;
- la recherche d'informations techniques et économiques sur la production et l'emploi actuels des substances ;
- les possibilités de traitement dans les rejets ;
- les possibilités de substitution de ces substances par des substances moins problématiques.

Pour ces deux derniers points, l'approche de l'INERIS s'accompagne d'une évaluation de la faisabilité technique et économique des traitements et substitutions envisagées.

III – LES DONNEES DISPONIBLES : LES FICHES SUBSTANCES

Le contexte ci-dessus décrit illustre bien les multiples aspects à prendre en compte lorsque l'on souhaite obtenir une information de qualité sur les ETM. Ainsi, force est de constater que, si les données scientifiques existent sur ces éléments, celles-ci sont éparées, de fiabilité variable et d'exhaustivité non garantie.

Des études telles que celles effectuées par L'INERIS avaient déjà été menées au niveau européen pour certaines substances (RPA, 2000 ; Royal Haskoning, 2003) mais ces études restaient très générales et synthétiques. En particulier, elles n'étaient pas basées sur des enquêtes directes auprès des industriels, et surtout leur pertinence dans le contexte français n'était a priori pas connue.

Ainsi, dans le cadre du projet RSDE (recherche et réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau) l'INERIS a rédigé des fiches « substances » avec comme objectif de pallier aux défauts ci-dessus évoqués des travaux européens. Ces fiches¹ concernent aussi bien certains ETM que des substances organiques variées, des phytosanitaires, ...

Les fiches comprennent, dans la limite des informations obtenues, pour chaque substance étudiée :

- Généralités : définition et caractéristiques principales, point sur la réglementation nationale et internationale spécifique à la substance (classification, valeurs limites de rejet, restrictions d'emploi, interdiction) ;
- Ses modes de production (volontaire ou non) et d'utilisation ;
- Ses voies de rejets et sa présence dans l'environnement ;
- Les possibilités de réduction de ses rejets : substitution de cette substance par des substances ou des techniques alternatives, traitement des effluents, etc.
- Aspects économiques : quelques éléments sur la substance dans l'économie française et sur les coûts des moyens de réduction des rejets.

Bien que ces documents soient, au niveau français, parmi les monographies répondant à notre problématique les plus abouties, les informations collectées souffrent malheureusement de certaines lacunes : certaines données relèvent de secrets industriels ; la quantification des rejets est le plus souvent approximative (surtout en cas d'émissions diffuses) ; les coûts des moyens de réduction des rejets sont le plus

¹ Ces fiches sont la propriété de l'INERIS et sont proposées gratuitement en téléchargement (http://rsde.ineris.fr/fiches_technico_eco1.php). Elles peuvent être téléchargées, utilisées et copiées librement, toutefois, l'installation sur un réseau intranet de ces fiches ou la diffusion à partir d'un autre site y compris par lien vers le site INERIS doit obtenir l'autorisation préalable de l'INERIS.

souvent mal connus, etc... Ces incertitudes sont, dans la mesure du possible, précisées dans chaque fiche.

A ce jour, cinq fiches concernant des ETM sont disponibles :

- arsenic et composés inorganiques ;
- cadmium et ses dérivés ;
- mercure et ses principaux composés ;
- nickel et ses principaux composés ;
- plomb.

IV – LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

1 – L'arsenic (INERIS, 2008a)

L'arsenic est naturellement présent dans la croûte terrestre. Cet élément et ses composés sont présents à l'état de traces dans de nombreux sols et roches ou bien dans certaines eaux et même dans le compartiment atmosphérique.

L'arsenic et ses composés ont de très nombreuses applications : traitement du bois ; batteries électriques ; semi-conducteurs ; divers équipements électriques et électroniques ; agent décolorant dans l'industrie du verre ; pigments de peinture ; fabrication de plombs de chasse ; ...

La majeure partie de l'arsenic anthropique atmosphérique provient des fumées émanant des industries de production d' As_2O_3 et de la combustion de produits fossiles (charbons, pétroles, huiles) qui contiennent un pourcentage important d'arsenic.

Dans l'industrie pour limiter les rejets d'arsenic il est recommandé d'effectuer une meilleure sélection des matières premières combinée si nécessaire :

- à une épuration des gaz acides et au piégeage des poussières (dans l'atmosphère) ;
- à un piégeage, une concentration, ou une transformation des substances polluantes afin de réduire le caractère polluant des effluents.

2 – Le cadmium (INERIS, 2005a)

L'usage du **cadmium** est en décroissance continue, et il a été interdit ou son emploi a été restreint par la réglementation européenne dans plusieurs applications importantes

(équipements électriques et électroniques, coloration et stabilisation de certains produits, traitement de surface de produits métalliques).

Malgré un déclin des utilisations intentionnelles, actuellement, un usage important pour les accumulateurs industriels demeure, et pourrait encore perdurer assez longtemps. Les rejets diffus semblent constituer la première voie d'apport de cadmium dans les milieux aquatiques, et leur importance par rapport aux rejets ponctuels devrait augmenter dans le futur. Parmi ces sources diffuses de cadmium, l'emploi d'engrais phosphatés dans l'agriculture, les dépôts atmosphériques, les sources diffuses de combustion (résidentielles, feux de déchets,...) seront très difficiles à réduire à court terme.

3 – Le mercure (INERIS, 2008b)

Bien que le mercure soit l'un des produits toxiques environnementaux les plus étudiés, il subsiste quelques lacunes dans la compréhension d'un certain nombre de questions globales.

En l'absence de nouvelles mesures de prévention ou de limitation, les émissions devraient continuer à se réduire mais à un rythme plus modéré que celui observé ces dernières années.

Dans la perspective d'une diminution drastique des rejets (sans pour autant accroître la quantité de déchets « ultimes » issus du traitement des effluents), il semblerait raisonnable d'encourager, dans un premier temps, les mesures de substitution et dans un second temps pour les produits où la substitution est difficile ou non rentable (lampes fluorescentes, les produits pharmaceutiques, les pièces détachées d'automobiles, ...), d'accroître l'efficacité des filières de collecte et de valorisation des déchets contenant du mercure.

Le tableau 2 présente les différentes options apparaissant les plus favorables à la diminution des rejets environnementaux de mercure. Néanmoins, il faut noter que certaines des mesures proposées sont déjà partiellement (voire totalement dans le cas des pesticides) mises en œuvre.

Tableau 2 : Option à privilégier pour obtenir une diminution des rejets environnementaux de mercure (INERIS, 2008).

USAGES	PRECONISATIONS
Batteries	Substitution
Thermomètres	Substitution
Amalgames dentaires	Substitution
Pesticides	Substitution
Lampes	Valorisation
Industrie du chlore	Changement de procédé
Autres usages	Valorisation

Rappelons qu'à ce jour, la quasi-totalité des secteurs responsables d'émissions de mercure dans l'environnement ont déjà appliqué des mesures de traitement des rejets. Cette affirmation souffre d'une exception, celle des crématoriums, qui rejettent le mercure présent dans les amalgames dentaires.

4 – Le nickel (INERIS, 2005b)

La présence du nickel dans l'environnement résulte, pour plus de 84 % des émissions, de son utilisation dans la production d'acier et divers alliages, dans les batteries, les circuits électriques. Outre les gisements, le nickel existe également naturellement dans l'environnement.

Malgré un déclin des rejets industriels lié à la mise en place de nouvelles technologies de contrôle des émissions de nickel et un meilleur recyclage des effluents riches en nickel, les apports de cet élément à l'environnement vont perdurer longtemps. Ceci est lié à de multiples raisons :

- existence de sources naturelles de nickel ;
- difficulté et/ou impossibilité de supprimer le nickel dans certaines applications particulières (alliages, aciers inoxydables,...) ;
- durée de vie importante des produits contenant du nickel (à l'exception des batteries) ;
- recours à des produits contenant du nickel en remplacement à des produits présentant un fort impact pour l'environnement (remplacement des batteries au plomb, cadmium, ... par des batteries Ni-MH) ;
- croissance du marché de l'ensemble des produits contenant du nickel ;
- présence d'apports industriels diffus à l'échelle du territoire.
- apport agricoles diffus via les engrais, difficilement contrôlables,

Malgré les progrès effectués dans le domaine de la dépollution des effluents industriels et le fort intérêt économique que représente la valorisation des déchets contenant du

nickel, la disparition des rejets (d'origine anthropique) de cet élément à court terme semble hors de portée.

5 – Le plomb (INERIS, 2005c)

Les émissions de **plomb** ont été très significativement réduites pendant les dernières années, suite à la suppression du plomb dans les carburants automobiles. Elles devraient continuer à diminuer. Il semble cependant impossible d'obtenir des rejets nuls d'ici 2015 : la diversité des sources d'émission et la non substituabilité du plomb pour une de ses principales applications (batteries automobiles au plomb) rendent très difficile la suppression totale des rejets à court terme. Des mesures existent cependant pour s'approcher au maximum de cet objectif, notamment en ce qui concerne l'efficacité du recyclage de divers produits (amélioration de la sélectivité des processus de recyclage du verre, augmentation du taux de recyclage des batteries au plomb) et la captation et le traitement des rejets de certains secteurs industriels (industrie des métaux).

V – AUTRE ETUDE : LE PROJET SOCOPSE

Dans la prolongation de ces fiches, l'INERIS participe à différentes études centrées sur des substances présentant une problématique environnementale. Citons le projet européen SOCOPSE qui compte, parmi les substances étudiées, deux ETM : le mercure et le cadmium.

SOCOPSE (Source Control of Priority Substances) travaille sur le thème de la réduction des rejets dans l'eau des substances prioritaires de la Directive Cadre sur l'Eau. Il a pour objectif de développer un « Système d'Aide à la Décision » qui se présenterait comme un guide d'appui à la conception d'une stratégie de gestion des substances prioritaires dans un bassin versant.

La méthodologie adoptée consiste en un recensement quantitatif des sources des substances, de leurs flux et leurs points d'émission dans l'environnement. Cette méthode est notamment utilisée pour décrire les cycles de ces substances dans l'environnement. Ci-dessous, la figure 2 présente le recensement effectué pour le mercure en 2000.

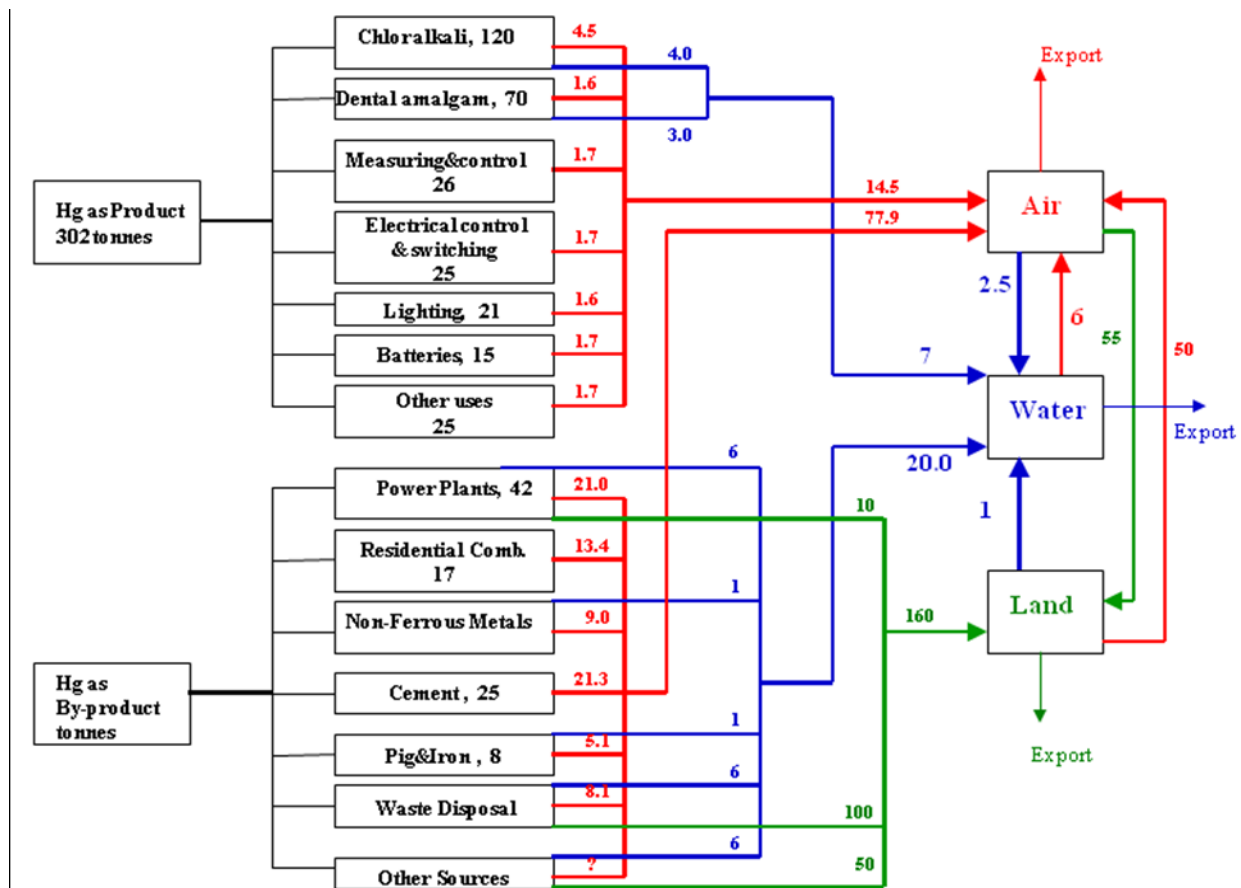


Figure 2 : Recensement quantitatif des sources d'émission du mercure en Europe en 2000 (unité : tonnes/an) d'après Pacyna (2006).

Substance par substance, un inventaire des mesures disponibles de réduction des rejets est disponible. Chaque substance est ainsi traitée sous la forme d'une monographie dans laquelle, en plus des caractéristiques générales de la substance, une évaluation de chaque mesure de réduction est fournie en fonction de critères de faisabilité technique, d'efficacité et de coûts.

Finalement, afin de valider l'applicabilité du « Système d'Aide à la Décision » une application de cet outil à quatre bassins versants européens (bassin Rhin-Meuse, bassin de la mer Baltique, bassin du Danube, bassins du Ter et de Llobregat en Espagne) a été menée. Les résultats de ces études de cas seront disponibles au printemps 2009.

L'enseignement le plus marquant du projet SOCOPSE est le manque et ou la forte hétérogénéité des données disponibles sur les substances. Cela concerne les données

d'émission, de traitements et de coûts/bénéfices des solutions d'abattement des émissions. A l'issue de ce projet², une des recommandations pourrait être de mettre en œuvre en Europe un mécanisme pérenne d'acquisition de données sur les émissions de substances chimiques, pour servir les besoins réglementaires.

VI – PERSPECTIVES

A de nombreuses occasions, nous avons déploré le manque de données ou leur insuffisante accessibilité pour caractériser les sources et le devenir des substances chimiques dans l'environnement.

De plus, quelque soit le compartiment de l'environnement concerné (l'air, l'eau ou le sol), les substances « problématiques » peuvent présenter des comportements complexes (c.à.d. un comportement différent d'une simple dilution pour un rejet dans l'eau ou d'une dispersion pour un rejet dans l'air).

Enfin, dans l'optique d'une gestion durable des rejets de substances dans l'environnement, l'ensemble des rejets anthropiques (artisanat, agriculture, utilisation de produits par les ménages,...) et leurs évolutions futures doit être pris en compte. De même, les apports diffus, les apports atmosphériques, et les éventuels apports naturels doivent être eux aussi pris en compte.

Pour faire face à ces défis une approche par modélisation peut être envisagée. En effet, la mise en œuvre d'un modèle nécessite de s'appuyer sur un état des lieux le plus précis possible et permet par exemple d'obtenir des indications sur les valeurs des émissions à ne pas dépasser pour être en accord avec la réglementation sur les teneurs maximales dans les milieux.

VII – CONCLUSIONS

La connaissance des éléments traces métalliques se heurte à de nombreuses difficultés : des données existent sur les sources d'ETM mais elles sont le plus souvent

² Une conférence finale est organisée par le projet SOCOPSE les 24 et 25 juin 2009 à Maastrich (Pays-Bas) sur le thème suivant : "Future Approach to Priority and Emerging Substances in European Waters: SOCOPSE in Support of the Next Generation River Management Plans" (<http://www.socopse.se/>).

éparses, de fiabilité variable et d'exhaustivité non garantie. Il convient donc d'adopter une démarche de vérification et d'agrégation des données disponibles.

De plus, une fois les sources d'ETM connues et afin d'envisager la diminution des rejets dans toutes ses dimensions, il est également nécessaire de compiler des informations à partir de sources variées (données techniques, économiques, procédés industriels, ...).

Bien que non disponible pour toutes les substances appartenant au groupe des éléments traces métalliques, ce type d'approche est celle qui a été adoptée (au moins en partie) lors de la rédaction des fiches RSDE et pour le projet SOCOPSE.

D'autre part, dans une optique de gestion de l'environnement (impact de nouvelles réglementations par exemple, ...) et afin de prendre en compte de façon efficace la problématique des rejets d'ETM dans l'environnement il convient d'accroître la précision des inventaires d'émission. Pour ce faire, une hybridation des sources de données (listing des rejets directs industriels, mesures des rejets urbains, estimation des rejets naturels et des retombées atmosphériques, ...) et des méthodes (établissement de listes, outils d'aide à la décision, modélisation, ...) semble à encourager.

IV – BIBLIOGRAPHIQUE

Académie des Sciences, 1998. Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Rapport n°42, Tec et Doc (Eds).

Miquel, G. et al., 2001. Rapport d'information n° 261. Office parlementaire d'évaluation des choix scient. Tech., 344 p. (<http://www.senat.fr/rap/l00-261/l00-261.html>).

INERIS, 2008a. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : MERCURE ET SES PRINCIPAUX COMPOSES, 112 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).

INERIS, 2008b. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS, 64 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).

INERIS, 2005a. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : CADMIUM ET SES DERIVES, 25 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).

INERIS, 2005b. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : NICKEL ET SES PRINCIPAUX COMPOSES, 65 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).

INERIS, 2005c. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : PLOMB, 57 p. (<http://rsde.ineris.fr/>).

J.M., Pacyna, 2006. Material Flow Analysis for selected Priority Substances, SOCOPSE project - WP2, draft version

Rollin, C. et Quiot, F., 2006. Eléments traces métalliques : Guide méthodologique, Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. INERIS, Rapport INERIS-DRC-06-66246/DESP-R01a, 119 p. (www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2712).

Royal Haskoning, 2003. Fact sheets on production, use and release of priority substances in the WFD.

RPA, 2000. Socio-economic impacts of the identification of priority hazardous substances under the water framework directive.

Sparks, D.L., 1998. Environmental soil chemistry. Academic Press, 267 p.