



## Doctoral Thesis

# **Contribution des ménages urbains dans le métabolisme des biens et des éléments chimiques des filières de désapprovisionnement des biens de consommation solides**

**Author(s):**

Glenck, Emmanuel

**Publication Date:**

1994

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001374330> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Thèse no. 10717

Contribution des ménages urbains dans le métabolisme des biens et  
des éléments chimiques des filières de désapprovisionnement des  
biens de consommation solides

présentée au

Département XB Umweltnaturwissenschaften

de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zürich

pour l'obtention du grade de docteur ès sciences naturelles

par

Emmanuel Glenck

Ing. chim. dipl. EPF

né le 28 juillet 1964

originaire de Bâle-ville et de nationalité française

acceptée sur proposition du jury:

Prof. P. Baccini, rapporteur

Prof. P. H. Brunner, corapporteur

Zürich, 1994

## Résumé

L'analyse du métabolisme des biens, des paramètres chimiques et énergétiques d'une région constitue un des instruments de gestion de l'approvisionnement et du désapprovisionnement à mettre en œuvre afin d'atteindre un développement durable. Les ménages urbains constituent dans les pays industrialisés un des procédés centraux du métabolisme de l'anthroposphère. Situées entre les milieux de consommation de la matière et les milieux naturels, les filières de désapprovisionnement traitent les biens de consommation solides métabolisés par les ménages et participent à un double objectif écologique: la préservation des ressources naturelles et la minimisation des émissions polluantes vers les écosystèmes.

Les flux d'approvisionnement des ménages en biens ont été essentiellement déterminés à partir de données extraites de l'analyse des marchés. Les données concernant la matière transférée vers le désapprovisionnement (procédés UIOM et collectes sélectives) sont établies grâce aux services de l'administration communale et à l'aide de campagnes de mesures spécifiques effectuées sur l'usine d'incinération des ordures ménagères. Les données concernant l'approvisionnement et le désapprovisionnement ont été intégrées pour le procédé "Ménages urbains" pour les éléments silicium, calcium, fer, aluminium, carbone, soufre, phosphore, chlore, cuivre, zinc et l'eau. Dans ce travail, la composition chimique des mâchefers est mise en relation avec la nature et la quantité de biens consommés par les ménages urbains. Afin d'illustrer la démarche adoptée, la municipalité de St-Gall en Suisse constitue notre objet d'étude.

L'analyse de sensibilité effectuée a permis d'identifier les variables-clé du système afin de réunir un ensemble restreint de paramètres et de méthodes d'observation. Cette démarche vise à obtenir une détection avancée des changements intervenant dans le métabolisme des biens et des éléments chimiques des ménages urbains pour les biens de consommation solides.

Les résultats de cette recherche nous amènent à formuler les thèses suivantes:

- 1) Les ménages urbains incarnent un acteur déterminant le métabolisme des biens et des éléments chimiques pour les filières de désapprovisionnement des biens solides mobiles au sein de l'anthroposphère. Ils contribuent à environ 50% des flux de matières transférés à l'incinération (UIOM). L'activité "Transporter et communiquer" (emballages des biens; déplacement des biens, de l'information et des personnes) domine largement dans les biens solides rejetés par les ménages. Les biens de consommation à courte durée de vie représentent entre 50 et 100% des outputs des ménages pour les non-métaux (silicium, calcium, carbone, soufre, phosphore, chlore), l'aluminium et l'eau. Les métaux se trouvent au moins à plus de 90% dans les biens de consommation à longue durée de vie (fer, cuivre, zinc).

2) L'intensification du jet séparatif au sein des ménages conduit à une augmentation des flux transférés vers la collecte sélective mais n'implique pas systématiquement une modification significative des concentrations chimiques dans les mâchefers. Cette stratégie pourrait cependant modifier considérablement certaines caractéristiques physiques et énergétiques des déchets solides incinérés (pouvoir calorifique, teneur en eau) et influencer directement la capacité de traitement de l'usine d'incinération.

3) D'après les estimations effectuées, les concentrations en éléments matriciels (Si, Ca, Fe et Al) dans les mâchefers sont sensibles à la composition des déchets solides incinérés. Pour d'autres éléments, les modifications potentielles sont négligeables (C, S) ou ne suffisent pas pour se rapprocher de références géologiques (P, Cl, Cu et Zn). Le module silicique (rapport  $\text{CaO/SiO}_2$ ) pour les mâchefers est relativement constant (valeurs extrêmes comprises entre 0.6 et 2) quels que soient les coefficients de transfert des biens entre les ménages et l'UIOM. La présence, dans les ordures ménagères, de matière organique, de papier/carton, de biens d'équipement et d'emballages ferreux et en aluminium influence de manière importante les caractéristiques chimiques des mâchefers. Les teneurs en fer et aluminium dans les mâchefers représentent des grandeurs très sensibles.

4) Les variables-clé du système sont identifiées et la sensibilité du système par rapport à ces variables est estimée. La complexité du système est réduite à un ensemble de variables relevantes dans l'optique d'une détection avancée des changements intervenant dans le métabolisme des biens et des éléments chimiques des biens de consommation solides par les ménages. Selon l'analyse présentée, l'accent devrait être mis sur le suivi de l'approvisionnement des ménages ainsi que sur les collectes sélectives. L'UIOM pourrait servir d'instrument de complément et de vérification des flux estimés pour l'ensemble du système. La comptabilité des substances aux niveaux des procédés de production et de désapprovisionnement constitue un outil central dans la gestion à long terme de nos ressources.

## Abstract

In order to reach a sustainable development, the analysis of the regional metabolism of goods, chemical elements and energy represents an essential instrument of management of both supply and disposal. The urban households of industrial countries are depicted here as one of the most important metabolic process in the anthroposphere. Situated between production and environment, the waste disposal processes treat solids from private households and follow two major ecological objectives: conservation of natural resources and ecosystems. In this investigation, the chemical composition of bottom ash (slag) is correlated with the quality and the quantity of solid goods consumed by private households. The city of St. Gall in Switzerland was chosen to illustrate the methods applied.

As regards the key component of the system – the private households – data on the input of goods was collected from two sources:

- The input from the supply of solid goods was estimated mainly from market analysis data
- Fluxes of goods and chemical elements transferred to the solid waste disposal processes (municipal solid waste incineration plant MSWIP and separate collection) were assessed with a program we developed especially for this investigation (for some residential solid waste collected from specifically established routes as well as in the incineration plant).

The sensitivity analysis allowed the identification of the key variables of the system in order to reduce the number of monitoring parameters.

The results of this study support the following conclusions:

- 1) The private households play a key role in determining the metabolism of solids and chemical elements as far as the solid waste disposal processes are concerned. They contribute to approximately 50% of the fluxes which are transferred to the MSWIP. The activity “To transport and to communicate” (packaging of goods as well as transport of persons, goods and information) constitutes the bulk of the contribution. Between 50 and 100% of the selected nonmetallic elements (carbon, sulphur, phosphorus, chlorine), aluminium and water in the outputs of urban households are contained in short-lasting consumer goods. More than 90% of the metals (iron, copper, zinc) are found in long-lasting consumer goods.
- 2) The increase in separate collection leads to a decrease of fluxes conveyed to the MSWIP but does not automatically imply a significant modification of the chemical composition of the bottom ash. Nevertheless, this strategy could considerably modify some of the physical and energetic properties of solid waste (calorific value, water content), and directly influence the incineration capacity of the plant.

3) According to the estimates, the chemical concentrations of matrix elements (Si, Ca, Fe and Al) in bottom ash are sensitive to the transfer coefficients of solid goods between households and the MSWIP. Modifications of other chemical concentrations are negligible (C, S) or too low (P, Cl, Cu and Zn) to reach geological standards (ores, rocks). The silica ratio for bottom ash ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) is relatively constant (between 0.6 and 2) whatever the transfer coefficients may be. The key variables identified for chemical concentrations in slag are: the organic matter, paper and cardboard, household furnishings, plastics, ferrous and aluminium packagings. Both the iron and aluminum contents in bottom ash are sensitive variables.

4) An early detection system of changes occurring in the metabolism of solid consumer goods and chemical elements in urban households is necessary. Identification of key variables for each given element (transfer coefficients) allows to reduce the complexity of the system. The effects of their extreme variations are calculated. According to the presented analysis, the main effort should concentrate on both the supply of goods and the separate collection as far as monitoring is concerned. The process SWMIP must be used for verification purposes, since other data is often difficult to obtain accurately. If we want to succeed, quantitative informations in field of production and disposal are essential (material accounting).

## Zusammenfassung

Mit der Analyse des Stoffwechsels von Ver- und Entsorgungsprozessen einer Region können die wesentlichen Steuerungsgrössen in Hinsicht auf eine nachhaltige Entwicklung ermittelt werden. In den Industrieländern stellen urbane Haushalte einen zentralen Prozess im Metabolismus der Anthroposphäre dar. Das Entsorgungssystem als Vermittler zwischen Konsum und Umwelt soll gemäss Leitbild der schweizerischen Abfallwirtschaft die verbrauchten Konsumgüter so behandeln, dass (1.) die natürlichen Ressourcen möglichst geschont und (2.) die Umweltbelastungen reduziert werden.

Die Flüsse aus der Güterversorgung in die Privathaushalte wurden über gesamtschweizerische Marktforschungsdaten bestimmt. Die Güterflüsse durch die Entsorgungsprozesse (Kehrichtverbrennungsanlage und Separatsammlung) basieren einerseits auf Erhebungen der Stadtverwaltung und andererseits auf eigene Messungen. Die Daten der Ver- und Entsorgung wurden im Prozess "Privathaushalte" verknüpft. In dieser Arbeit wurde die chemische Zusammensetzung von Kehrichtschlacke in Verbindung mit der Qualität und Quantität der häuslichen Siedlungsabfälle gesetzt (Kausalitätsmodell). Um die Vorgehensweise der Systembeurteilung illustrieren zu können wurden die Untersuchungen in der Stadt St. Gallen (Schweiz) durchgeführt. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse konnten die Schlüsselvariablen des Systems identifiziert werden, um ein beschränktes Messprogramm in Hinsicht einer Dauerbeobachtung vorzuschlagen.

Die Forschungsergebnisse führten zu folgenden Thesen:

- 1) Bei der Entsorgung fester Konsumgüter stellen die Privathaushalte bezüglich des Güter- und Elementstoffwechsels einen bedeutenden Prozess dar. Ca. 50% der Güter- und Stoffflüsse, die in Kehrichtverbrennungsanlagen transferiert werden, stammen aus den Privathaushalten. Die festen Güter werden mengen- und stoffmässig hauptsächlich durch die Aktivität "Transportieren und Kommunizieren" (Transport von Personen, Gütern und Informationen sowie Güterverpackungen) umgesetzt. Dabei liegen die Nicht-Metalle (Silizium, Kalzium, Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor und Chlor), das Aluminium und das Wasser zu 50 bis 100% in kurzlebigen Gütern vor. Die Metalle (Eisen, Kupfer und Zink) sind zu über 90% in langlebigen Gütern enthalten.
- 2) Durch die im Haushalt Zunahme separat gesammelter Güter werden die Flüsse in die Recyclingprozessen zwar erhöht, die Elementkonzentrationen in der Kehrichtschlacke jedoch nicht grundsätzlich dadurch geändert. Physikalische und energetische Parameter (Heizwert und Wassergehalt) Siedlungsabfälle werden durch die Zunahme der Triageleistung signifikant geändert. Damit wird die Durchsatzleistung der KVA wesentlich beeinflusst.

3) Die vorliegenden Schätzungen zeigen, dass die im Dreistoffsystem {CaO - SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>} Stoffkonzentrationen von Matrixelementen (Si, Ca, Fe, Al) in der Schlacke durch die Massentransferkoeffizienten im Privathaushalt stark beeinflusst werden. Für andere Elemente (C, S) sind die potentiellen Aenderungen vernachlässigbar oder ungenügend (P, Cl, Cu und Zn), wenn es darum geht, einem geologischen Standard (Erze oder Gesteine) näher zu kommen. Das Silizium-Modul der Schlacke (Verhältnis CaO/SiO<sub>2</sub>) bleibt relativ konstant (zwischen 0.6 und 2) unabhängig vom Transferkoeffizient in Privathaushalten. Organische Abfälle, Pappe und Karton, Einrichtungsgegenstände, Eisen- und Aluminium-verpackungen nehmen einen starken Einfluss auf die Qualität der Kehrrechtschlacke. Die Eisen- und Aluminiumgehalte sind in der Kehrrechtschlacke empfindliche Grössen.

4) Die ursprüngliche Komplexität des Systems konnte mittels einer Sensitivitätsanalyse auf wenige Schlüsselvariablen reduziert werden. Sie erlauben eine Früherkennung von Aenderungsmöglichkeiten von Stoffwechselprozessen in städtischen Haushalten. Bezüglich festen Gütern sollte der Beobachtungsschwerpunkt bei der Versorgung von Haushalten und deren Separatsammlungen liegen. Mit gezielten KVA-Messkampagnen könnten die damit berechneten Stoffflüsse im System überprüft werden. Die Stoffbuchhaltung bei Produktions- und Entsorgungsprozessen stellt ein unerlässliches Instrument der langfristigen Ressourcenbewirtschaftung dar.