

CARACTÉRISATION DES EXPOSITIONS AUX AGENTS CHIMIQUES DANGEREUX DANS UNE ENTREPRISE DE TRAITEMENT DE DEEE

F.Zimmermann*¹, M-T.Leclerc¹, J.Kunz-Iffli¹, E.Monnoyer¹, J.Grosjean¹, F.Clerc²

¹Laboratoire d'Analyses Spatiales et Temporelles des Expositions Chimiques, Département Ingénierie des Procédés, ²Département Métrologie des Polluants
INRS, 1 rue du Morvan, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy, France
*Courriel de l'auteur : francois.zimmermann@inrs.fr

Characterization of Exposure to Hazardous Chemical Agents in a WEEE Treatment Facility

RESUME

Une campagne de mesures a été menée dans une entreprise de traitement de Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) dans le but d'évaluer les expositions et d'étudier la faisabilité d'un déploiement d'outils conjoints de mesures des polluants organiques et inorganiques : mesures environnementales des émissions dans les atmosphères et dépôts sur les surfaces, mesures individualisées des expositions atmosphériques, frottis dermiques et recueils biométriologiques. Dans cet article, un focus particulier est mis sur les prélèvements atmosphériques, notamment des retardateurs de flamme (RF) et phtalates, perturbateurs endocriniens reconnus ou suspectés. Les autres polluants investigués sont les polluants inorganiques : poussières, métaux. Les résultats suggèrent une contamination généralisée des environnements de travail, une polyexposition et une présence ubiquitaire des retardateurs de flammes. Cette situation, si elle se confirme, nécessitera la mise en place de mesures de prévention adaptées afin de limiter l'exposition des travailleurs.

ABSTRACT

A measurement campaign was conducted in a Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) treatment facility to assess worker exposure and evaluate the feasibility of integrated monitoring tools for organic and inorganic pollutants. The study combined environmental measurements of airborne emissions and surface deposition with individualized assessments of airborne exposure, dermal wipes, and biomonitoring. This article focuses on airborne sampling of flame retardants and phthalates, recognized or suspected endocrine disruptors, alongside inorganic pollutants such as dust and metals. The findings indicate widespread workplace contamination, multiple simultaneous exposures, and the ubiquitous presence of flame retardants. These results highlight the need for targeted preventive measures to reduce worker exposure.

MOTS-CLES : DEEE, Retardateurs de flamme, Phtalates, Exposition

KEYWORDS: WEEE, Flame retardants, Phthalate, Exposure

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Des entreprises pilotes de traitement des Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) ont été sélectionnées à partir d'une enquête de filière pour appréhender les niveaux d'exposition des travailleurs et l'émissivité des procédés à des polluants organiques et inorganiques, par filières de traitement et selon les procédés mis en œuvre. En parallèle, une stratégie de mesures conjointes, atmosphériques, surfaciques, dermiques et biométriologiques a été développée. Ces outils de mesures ont été déployés de manière coordonnée dans sept entreprises pilotes représentatives des activités de traitement pour tester la faisabilité d'une évaluation multi-voies, cartographier les expositions dans ce secteur d'activité en mutation et exploiter des corrélations entre ces données combinées.

L'objectif de la présentation est de faire le bilan des données atmosphériques des agents chimiques dangereux, mélange de composés organiques et inorganiques issus d'une de ces campagnes de mesures.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Présentation de l'entreprise

Le site industriel investigué est une entreprise employant plus de 200 salariés, située en France et spécialisée dans le traitement et le recyclage de DEEE. Cette entreprise est certifiée WEEELABEX, « label d'excellence métier » qui garantit le traitement des DEEE dans le respect des exigences réglementaires et des normes européennes CENELEC.

La campagne de mesures s'est concentrée sur les unités de traitement des Écrans Tubes à Rayonnement Cathodique (TRC), des Écrans plats, des Petits Appareils en mélanges (PAM) et des plastiques issus des PAM et des écrans. Les écrans sont démantelés et une partie des extrants broyées. Les PAM suivent un processus de traitement complexes alternant des phases manuelles et automatisées de tri et de broyage. En bout de chaîne de traitement des PAM, les plastiques sont l'un des extrants principaux. Les plastiques extraits

suivent alors une filière propre de traitement impliquant également des étapes de broyage, de tri par nature des polymères et séparation des plastiques bromés/non-bromés. Les quantités traitées d'écrans TRC et plats, de PAM et de plastiques sur le site industriel investigué sont de plusieurs milliers de tonnes par an.

2.2. Stratégie de mesures

La méthodologie de prélèvements retenue pour la campagne de mesures a comporté deux volets complémentaires:

- **Un volet métrologique de l'exposition externe**, visant à caractériser l'environnement de travail :
 - o Analyse granulométrique des aérosols (répartition des particules selon leur taille),
 - o Prélèvements atmosphériques d'ambiance (stations fixes),
 - o Prélèvements atmosphériques individuels (portés par les opérateurs)
 - o Prélèvements surfaciques (sur les plans de travail et les équipements).
- **Un volet de biométrie de l'exposition**, destiné à évaluer l'imprégnation corporelle des opérateurs :
 - o Prélèvements dermiques (par essuyage cutané),
 - o Prélèvements biologiques (urines des opérateurs).

Nous nous concentrerons ici exclusivement sur les données issues des prélèvements atmosphériques en ambiance et individuel. La synthèse de l'ensemble des données sera communiquée ultérieurement.

L'exposition atmosphérique d'ambiance à point fixe a concerné les polluants organiques et inorganiques. L'exposition atmosphérique individuel s'est concentrée sur les polluants organiques dans la mesure où (1) il n'a pas été estimé déontologiquement de sur-charger les salariés par plusieurs supports de prélèvement au cours de trois journées consécutives de travail, et (2) de précédentes études INRS [Zimmermann 2016, Lecler 2015] ont largement contribué au niveau de connaissance sur les expositions des polluants inorganiques dans la filière de traitement DEEE.

Les prélèvements atmosphériques conjoints en individuels et d'ambiance permettent d'évaluer de manière complémentaire l'exposition et les émissions en milieu professionnel. Les prélèvements individuels visent à estimer l'exposition par inhalation des travailleurs en captant les polluants au niveau des voies respiratoires. Les prélèvements d'ambiance, réalisés en position fixe à différents emplacements de l'atelier, servent à caractériser la contamination générale de l'environnement de travail et à identifier les sources d'émission liées aux procédés ou opérations spécifiques.

Les polluants inorganiques investigués en ambiance sont les poussières inhalables et 21 métaux contenus dans les poussières – *Pour des raisons de simplification, seules les données du plomb seront communiquées ici.*

Les polluants organiques investigués en ambiance et en individuel sont :

- 19 Retardateurs de flamme (RF) :
 - o 10 RF Bromés (9 PBDE et le TBBPA)
 - o 9 RF Organophosphorés (OPFR)
- 8 Phtalates (dont le DEHP).

2.3. Aperçu des méthodes mises en œuvre pour l'atmosphérique

Les prélèvements atmosphériques ont été effectués sur des périodes de 6 à 8 heures, représentatives d'une journée de travail, et répétés sur trois jours consécutifs.

Composés inorganiques

- Prélèvement : Débit contrôlé (2 L/min) à l'aide d'une pompe associée à un support composé d'une cassette porte-filtre de 37 mm de diamètre contenant une capsule interne en PVC soudée à un filtre en acétate de cellulose.
- Analyses : Quantification par analyse gravimétrique pour la concentration pondérale (poussière inhalable) et par spectrométrie d'émission plasma (ICP) pour les métaux.

Les méthodologies de prélèvement et d'analyse des poussières et métaux s'appuient sur les fiches INRS Metropol : Aérosols en fraction inhalable M-274 et Métaux et Métalloïdes M-122 (disponible sur le site internet www.inrs.fr).

Composés organiques

- Prélèvement : Débit contrôlé (2 L/min) à l'aide d'une pompe associée à un multi-support composé d'une cassette porte-filtre de 37 mm de diamètre contenant un filtre en fibre de verre surplombant une cartouche adsorbante OVS (résines PU et XAD-2) de manière à échantillonner séparément les particules et les vapeurs.
- Analyses: Quantification par chromatographie en phase liquide ou en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en mode tandem (LC-MS/MS ou GC-MS/MS)

Les méthodes analytiques associées sont décrites dans les fiches INRS Métropol M-457 (organophosphorés) et M-458 (composés polybromés).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Composés organiques (RF et Phtalates)

Le suivi individuel des polluants organiques indique des niveaux d'exposition de l'ordre de grandeur de centaines de ng/m³ pour les RF bromés, de quelques centaines de ng/m³ à quelques µg/m³ pour les RF organophosphorés, et de quelques dizaines de µg/m³ pour les phtalates (Figure 1). Les 4 filières DEEE investiguées sont impactées par cette pollution.

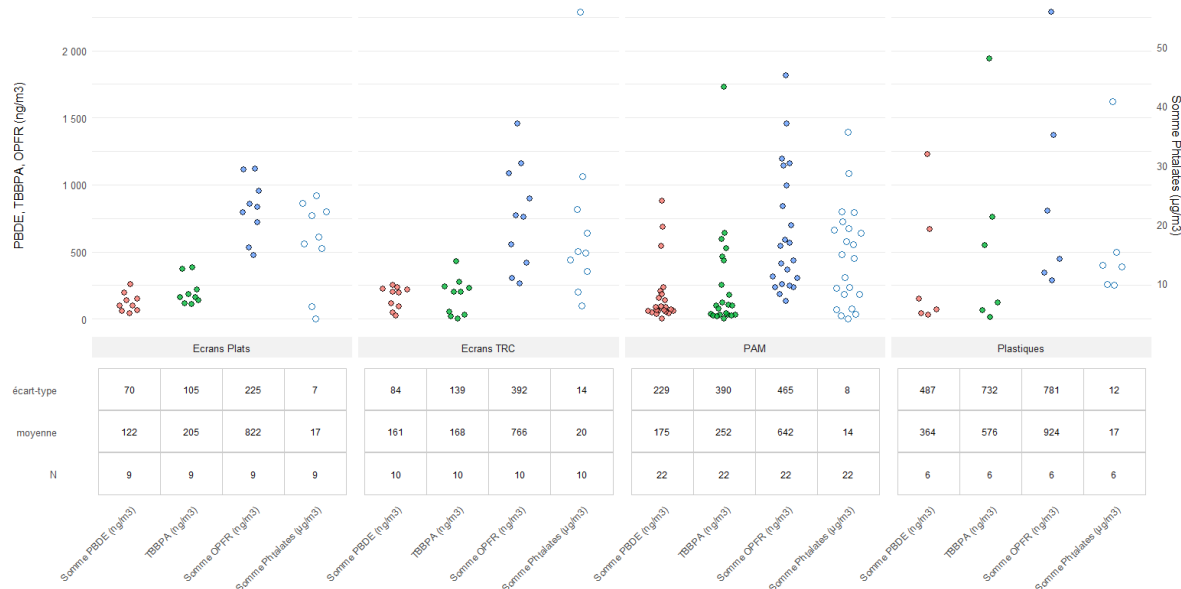


Figure 1 : Représentation des expositions individuelles en RF bromés, RF organophosphorés et phtalates dans 4 filières de traitement DEEE

Les mesures en ambiance indiquent également la présence de RF et phtalates dans les atmosphères de travail (données non présentées dans l'article)

3.2. Composés inorganiques (poussières, plomb)

Le suivi en ambiance des polluants inorganiques indique des concentrations variables en poussières et plomb selon les filières et les procédés (figure 2).

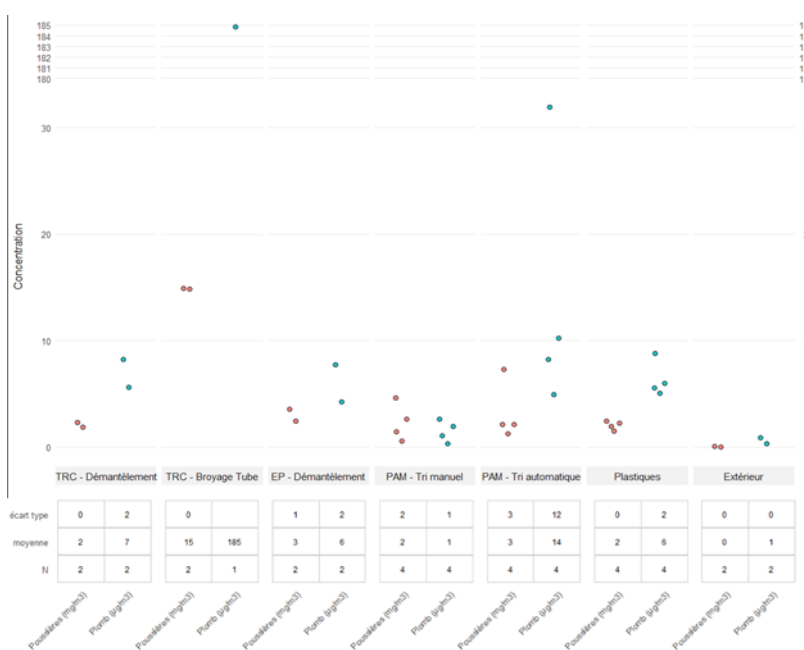


Figure 2 : Représentation des concentrations en ambiance des poussières et plomb

Des données plus fournies seront présentées lors de la conférence.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats des mesures atmosphériques montrent que de nombreux composés organiques, perturbateurs endocriniens pour certains, se retrouvent dans toutes les filières de traitement DEEE investiguées, en complément de la pollution en poussières métalliques historiquement investiguées dans cette filière. Ces résultats suggèrent une contamination généralisée des environnements de travail.

Les résultats complets de la stratégie de mesure déployée sur les différents sites de traitement incluant l'ensemble des mesures métrologiques et biométrologiques seront présentés ultérieurement après exploitations de l'ensemble de données recueillies. Ils permettront d'apporter de la connaissance sur les expositions, de cibler les catégories de DEEE les plus exposantes et les procédés les plus émissifs, de mieux comprendre les situations de travail et les implications entre les activités et voies de contamination, pour finalement définir les orientations des futures actions de prévention. À ce stade, les observations de terrain et les premières données orientent vers des recommandations d'ordre générale liées à la maîtrise des émissions à la source, l'organisation et l'hygiène des locaux, la protection individuelle, ainsi que l'information et la formation des travailleurs. Des recommandations plus étayées viendront soutenir la filière à la suite de l'exploitation de l'ensemble des données.

Ce modèle d'intervention pourrait également servir de cadre pour l'évaluation d'autres familles de substances émergentes ou préoccupantes dans des secteurs industriels similaires.

5. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toute la filière française de traitement DEEE, en particulier les Eco-organismes et les entreprises participatives.

6. REFERENCES

Lecler M-T, Zimmermann F, Silvente E, Clerc F, Grosjean J: Exposure to hazardous substances in cathode ray tube (CRT) recycling sites in France. *Waste Management* 39 (2015) 226-235

Zimmermann F, Lecler M-T: La filière des écrans plats - Aide au repérage des risques dans les entreprises de collecte et de traitement. *INRS, Brochure ED 6272*, Décembre 2016, 31 p.