



**Les risques chimiques liés  
aux opérations de récupération  
et recyclage des métaux**

# Les risques chimiques liés aux opérations de récupération et recyclage des métaux

François DIEBOLD, Alain CHOLLOT  
Département Ingénierie des procédés

**NS 308**  
octobre 2013

# **LES RISQUES CHIMIQUES LIES AUX OPERATIONS DE RECUPERATION ET RECYLAGE DES METAUX**

F. DIEBOLD, A.CHOLLOT  
Département Ingénierie des Procédés

## Résumé :

Par le tonnage des matières traitées, la filière de récupération et recyclage des métaux est l'une des plus importantes dans le secteur du traitement de déchets. Elle valorise des matières métalliques d'origine très diversifiée par la mise en œuvre de différents procédés de retraitement. Ces procédés sont susceptibles de générer des polluants tant sous la forme d'aérosols solides, métalliques, que de gaz et vapeurs.

Une cartographie des expositions à différents polluants chimiques a été réalisée dans sept entreprises de recyclage de métaux ferreux sur la période 2008-2010 afin de mettre en évidence les postes et fonctions de travail où les concentrations pourraient potentiellement conduire à des situations à risque pour les salariés. Malgré une certaine variabilité dans la nature des matériaux retraités et dans les procédés mis en œuvre, les opérations unitaires régulières communes à la plupart des entreprises ont été étudiées. D'autres opérations au caractère plus ponctuel ont également été examinées.

Les campagnes de mesurage ont concerné la détermination des niveaux d'exposition en poussières et métaux contenus dans celles-ci (Fe, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Mo, V, Zn) et en COV (benzène, toluène, xylène, éthylbenzène, n-hexane).

Cette note scientifique et technique propose une cartographie des expositions à différents polluants chimiques qui a été réalisée dans sept entreprises de recyclage de métaux ferreux sur la période 2008-2010 de manière à mettre en évidence les postes et fonctions de travail où les concentrations pourraient potentiellement conduire à des situations à risque pour les salariés.

## **1 - EXPOSÉ DES MOTIFS ET OBJECTIFS DES TRAVAUX**

### **1.1 - Contexte de l'activité de récupération des matières métalliques recyclables**

La filière de récupération et de recyclage des métaux est une des plus importantes par le poids de matières traitées : 12,1 MT pour les ferrailles et 1,68 MT pour les métaux non ferreux (source Fédération des Entreprises du Recyclage, FEDEREC, 2009), soit 35 % de la totalité des matières premières secondaires (MPS) recyclées. On estime que le recyclage d'une tonne de ferraille dans la production d'acier permet d'éviter la consommation de 1,4 tonne de minerai de fer et l'émission de 1,6 tonne de gaz à effet de serre.

Elle recense un gisement de matières premières très diversifié pour la valorisation duquel sont mis en œuvre différents procédés de retraitement : ceux-ci sont susceptibles de générer des polluants principalement sous forme d'aérosols métalliques, sans exclure cependant la possibilité de formation de composés gazeux issus de phénomènes d'échauffement et/ou de dégradation thermique de revêtements (peintures, apprêts, huiles, polymères...) présents sur les métaux ou inhérents aux procédés de traitement eux-mêmes (découpage thermique).

### **1.2 - Objectif**

L'étude présentée dans cette note scientifique et technique avait pour objectif principal de cibler les procédés émissifs en réalisant, au sein de la filière concernée, une cartographie des expositions à différents polluants chimiques afin de mettre en évidence les postes et fonctions de travail où les concentrations de ces polluants pourraient potentiellement conduire à des situations à risque pour les salariés.

## **2 - METHODOLOGIE**

Une première phase de l'étude de nature bibliographique a permis d'établir un panorama la filière de recyclage des métaux. Il en résulte que :

L'activité de récupération, recyclage et valorisation des fers et métaux est réalisée au sein de 900 entreprises (FEDEREC, 2009) qui emploient 10 800 personnes à 99 % salariés.

Les entreprises concernées sont généralement de petite taille : 500 ont moins de 10 salariés, 200 de 10 à 19 salariés et 250 ont plus de 20 salariés.

Ce secteur d'activité se caractérise d'une part par un fort mouvement de concentration, près de 50 % des entreprises du secteur appartenant à un groupe industriel, et d'autre part par une polyvalence au niveau de l'activité de transformation des matières premières secondaires (MPS) avec 55 % des entreprises ayant au moins trois activités.

Concernant la protection de l'environnement, on observe que 95 % des entreprises de la filière sont classées ICPE.

On observe aussi une forte implication de ces entreprises dans la démarche Qualité puisque 80 % d'entre elles sont certifiées (Qualival, Certirec, ISO 9000 et 14000).

La seconde phase a consisté à réaliser l'évaluation de niveaux d'exposition à différents polluants chimiques dans des entreprises sélectionnées en fonction de leur représentativité des procédés de recyclage utilisés dans la filière. Pour ce faire, les préventeurs du réseau des CARSAT et, les fédérations professionnelles concernées (FEDEREC) ont été sollicités.

Les polluants recherchés étaient présents principalement sous forme d'aérosols solides et de vapeurs.

Parallèlement à la mesure des polluants, un recueil d'informations techniques destinées à qualifier la nature des postes de travail étudiés a été entrepris.

## **2.1 - Description du process**

Le principe de base du process consiste à préparer des ferrailles et autres métaux pour une seconde vie et devenir, ainsi, des matières premières secondaires réutilisables en aciéries et/ou fonderies. Dans ce but, les différents produits issus du process doivent répondre à plusieurs critères fondamentaux, notamment avoir une dimension maximale compatible avec la taille des cuves de fusion et avoir une densité suffisante lors du chargement dans les fours et cuves pour augmenter la productivité du recyclage.

Le processus de traitement peut se décomposer schématiquement de la manière suivante :

- déchargement des camions et regroupement des matières sur le parc à métaux (photo n°1) ;
- le cas échéant, mise à dimension de certaines ferrailles lorsqu'elles sont de taille trop importante pour être introduites directement dans le broyeur. Pour cela, des opérations préalables de fractionnement peuvent être nécessaires qui font appel à différentes techniques ;
- découpage au chalumeau oxyacétylénique pour les structures lourdes (cuves, éléments de charpentes), les plaques et profilés : cette opération est réalisée par un chalumiste qui découpe les ferrailles directement sur le parc à métaux (photo n°2) ;
- cisailage pour des structures de dimension intermédiaire : cette opération est réalisée à l'aide d'une presse-cisaille hydraulique. Les ferrailles alimentent un coffre de pré-compression dans lequel la charge est comprimée puis poussée sous une lame guillotine pour être découpée à la longueur voulue. Le pilotage de la presse cisaille est effectué par un opérateur en cabine (photo n°3) ;
- chargement de la trémie alimentant le broyeur à l'aide d'une grue à grappin (photo n°4) ;
- broyage dans un broyeur à marteaux muni d'un dispositif d'aspiration des poussières (photo n°5) ;
- en sortie du broyeur : séparation des matières ferreuses, non ferreuses et non métalliques par différentes techniques de tri : trommel, tri par induction, tri magnétique et dernier tri en cabine de tri manuel (photo n°6).



Photo n° 1



Photo n° 2



Photo n° 3



Photo n° 4



Photo n° 5



Photo n° 6

L'ensemble du process implique généralement les différents opérateurs suivants :

- réceptionniste des différents matériaux : il s'agit d'un opérateur dont l'activité principale est de diriger les camions apportant les déchets métalliques vers le parc à métaux et de guider leur déchargement (photo n° 1) ;
- conducteur d'engins (grue, pelle, chargeur, charriots élévateurs) qui a pour tâche la manipulation des ferrailles avant broyage en vue de constituer les tas et d'approvisionner le broyeur, puis de charger le produit fini (ferraille broyée) et les sous-produits non métalliques commercialisables dans les moyens d'expédition choisis (camion, wagon, péniche, cargo) ;
- conducteur du broyeur qui travaille en cabine fermée climatisée d'où il règle le fonctionnement du broyeur par des moyens électroniques de contrôle et d'action (photo n° 7) ;
- trieur en cabine : la phase terminale du tri des ferrailles broyées est réalisée manuellement par des opérateurs dont l'activité est de retirer les résidus non métalliques (plastique, mousse, textile, verre) ou métalliques non ferreux qui ont échappé aux machines automatiques de tri (magnétique, par induction) intégrées au process (photo n° 6).

Dans certains cas, l'entreprise peut également réceptionner :

- des DEEE (Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques) du type Gros Equipement Ménager (GEM hors froid) comprenant machines à laver, fours (électriques, micro-onde). Le conditionnement de ces matériels en vue de leur broyage nécessite qu'une opération de dépollution des appareils soit effectuée. Celle-ci est faite par un opérateur qui enlève les câbles et composants électriques des appareils ;
- des VHU (Véhicules Hors d'Usage) non dépollués par les récupérateurs. Dans ce cas, la dépollution du véhicule est indispensable et réalisée par un opérateur qui procède à la vidange des réservoirs de fluides du véhicule (carburant, huile, liquide de refroidissement, liquide de frein) à l'aide d'une installation permettant le pompage des différents fluides dans des réservoirs (photo n° 8) ;
- des câbles électriques de provenances diverses : rebut de chantier, démolition de bâtiments... Le broyage est alors effectué par un broyeur dédié conduit par un opérateur dont les tâches consistent à approvisionner le broyeur en câbles à l'aide d'une pelle à grappin, et à piloter le fonctionnement du broyeur.



Photo n° 7



Photo n° 8

## 2.2 - Risques chimiques potentiels

Tous les procédés évoqués mis en œuvre sont susceptibles de générer des polluants principalement sous forme de poussières, d'aérosols métalliques, de composés gazeux issus de phénomènes d'échauffement et/ou de dégradation thermique de revêtements (peintures, apprêts, huiles, polymères...) présents sur les métaux ou inhérents aux procédés de traitement eux-mêmes (découpage thermique).

Des prélèvements d'aérosols atmosphériques réalisés dans des entreprises du secteur d'activité 37.1Z « récupération des matières métalliques recyclables », (données issues de la base de données COLCHIC pour ces dix dernières années), ont montré que des concentrations en divers éléments métalliques sont susceptibles de dépasser les VLEP correspondantes :

Elément	Nombre de mesures	% > VLEP
Pb	144	24,3
Cd	99	39,4
Ni	26	3,8

De plus, les préventeurs des CARSAT concernés confirmaient l'existence de postes de travail où des expositions à des aérosols métalliques peuvent survenir : postes de tri manuel, de broyage, grutiers, conducteurs d'installation, en particulier lorsque la ventilation du poste est insuffisante, voire inexistante.

Des prélèvements réalisés en 1992 par l'INRS et concernant des chalumistes occupés à la découpe de rebuts d'aciérie en acier inox (culots, bloom, « scraps ») ont également montré des expositions en Cr, Ni et Fe très largement supérieures aux VME de ces éléments.

Ces données mettent en évidence le risque d'émissions :

- de nombreux éléments métalliques (Fe, Cr, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Mo, V et Zn) : cette liste a priori, recense, une compilation des données inhérentes à la composition théorique des différents alliages potentiellement présents ;
- de composés organiques volatils (COV) : benzène, éthylbenzène, n-hexane, toluène et xylène.

(cf. annexe la liste des VLEP des différentes substances à la date des mesurages)

## 2.3 - Méthodologie de mesurage des polluants

### 2.3.1 - Stratégie de mesurage

Deux types de mesurage ont été mis en œuvre :

- le mesurage individuel des polluants (le dispositif de prélèvement est porté par la personne) caractérisant ainsi l'exposition au niveau des voies respiratoires de l'opérateur ;
- lorsque les conditions de terrain le permettaient, le mesurage par des prélèvements d'ambiance permettant de caractériser au plus près « l'émissivité » d'un procédé de recyclage.

Lorsque les opérateurs utilisaient un masque de protection respiratoire, son efficacité a été évaluée dans la mesure du possible.

### 2.3.2 - Prélèvement et analyse de la composition des aérosols solides (poussières)

Le prélèvement de poussières a été réalisé en conformité avec la méthode de prélèvement de la fraction inhalable de l'aérosol. Cette fraction granulométrique correspond à la totalité de ce qui peut être inhalé par le système respiratoire. Elle est captée à l'aide d'un dispositif constitué d'une cassette Millipore en configuration fermée contenant un substrat de collecte des poussières et à travers laquelle est assuré un débit d'aspiration de 2,0 L/min à l'aide d'une pompe MSA ESCORT ELF® à débit réglé [1].

Le substrat de collecte est soit une capsule à membrane du type Accu-Cap TM, soit un filtre en fibre de quartz WHATMAN® QM-A (Ø 37mm) selon que l'on souhaite déterminer les concentrations de poussières et d'éléments métalliques contenus ou seulement la concentration d'éléments métalliques. La mesure de la concentration pondérale (C.P.) des poussières collectées dans la capsule Accu-Cap est effectuée par une méthode gravimétrique [2].

Pour la mesure des concentrations en différents éléments métalliques susceptibles d'être présents dans la poussière prélevée, deux techniques différentes sont utilisées en fonction du substrat de collecte :

- capsule Accu-Cap : on effectue la dissolution de la membrane par l'acide perchlorique (600 µl) puis on procède à la dissolution de la capsule par 5 ml d'un mélange d'acides nitrique et chlorhydrique (2/3 - 1/3) sous digestion micro-ondes. Le soluté obtenu est ensuite jaugé à 25 ml avec de l'eau dé-ionisée ;
- filtre quartz : on procède à la dissolution de la poussière collectée directement dans la cassette de prélèvement de façon à prendre en compte la poussière déposée sur les parois de la cassette. La dissolution est obtenue par attaque acide à l'aide d'un mélange fluo-nitrique (3 ml HF + 2 ml HNO<sub>3</sub>), la solution est ensuite jaugée à 15 ml avec de l'eau dé-ionisée [3].

Dans les deux cas, l'analyse des éléments métalliques est réalisée par spectrométrie d'émission atomique en plasma à couplage inductif (ICP) sur un spectromètre VARIAN 720-ES.

Douze éléments métalliques ont été systématiquement analysés correspondant, d'une part, aux principaux métaux constitutifs, à des teneurs variables, des aciers alliés/non alliés (Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Mo, V) et, d'autre part, aux métaux non ferreux (Al, Cu, Cd, Pb, Zn).

### 2.3.3 - Prélèvement et analyse des composés organiques volatils (COV) [4]

Le prélèvement des COV a été réalisé par piégeage sur tube de charbon actif type NIOSH (SKC® 226-01) et l'extraction des composés adsorbés par désorption dans 1 ml de CS<sub>2</sub>.

L'analyse a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse avec détecteur à ionisation de flamme sur un chromatographe VARIAN 3900.

Les conditions chromatographiques étaient les suivantes :

- colonne RTX-5MS,
- injecteur : 260°C, détecteur : 250°C,
- étalonnage externe.

## 3 - RESULTATS PRINCIPAUX

### 3.1 - Description des entreprises

Sept entreprises ont fait l'objet de campagnes de métrologie dans le but de déterminer l'éventuelle exposition chimique des opérateurs. Les types de matières retraitées étaient variables d'une entreprise à l'autre. Les process mis en œuvre présentaient des phases opératoires communes pour toutes les entreprises, mais aussi des opérations spécifiques en fonction des matières retraitées.

- ✓ **ENTREPRISE A** : l'entreprise retraite et valorise des ferrailles d'incinération provenant de différentes usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) de la région parisienne. Dans ces UIOM, les mâchefers issus de l'incinération des ordures ménagères subissent préalablement un tri magnétique permettant d'en extraire les matériaux ferreux qui sont ensuite acheminés par camions jusqu'à l'entreprise A.

Les ferrailles incinérées brutes sont déchargées dans un hall de stockage pour l'approvisionnement de l'installation de broyage. Celle-ci se compose d'un crible rotatif de type Trommel permettant une première séparation entre les ferrailles et les résidus d'incinération, suivi d'un broyeur à marteaux. Le Trommel est alimenté en ferrailles incinérées brutes via une trémie à l'aide d'une pelle à grappin

- ✓ **ENTREPRISE B** : l'entreprise retraite et valorise des matériaux métalliques ferreux et non ferreux de récupération de diverses provenances (récupérateurs, chutes d'usines de transformation).

L'activité de l'entreprise est répartie en trois secteurs bien séparés : ferrailles, cuivre et aluminium.

Les ferrailles brutes sont déchargées sur une aire de stockage pour l'approvisionnement de l'installation de broyage. Celle-ci se compose d'une presse-cisaille suivie d'un broyeur à marteaux, le produit fini est ensuite débarrassé des métaux non ferreux résiduels par une opération de tri manuel en cabine.

Le retraitement de déchets d'aluminium comporte, d'une part, la réduction des dimensions des déchets dans une presse cisaille (RAPTOR 600) et, d'autre part, la fusion des déchets dans un four.

L'activité de recyclage de cuivre provenant de câbles est réalisée lors des opérations suivantes :

- tri manuel des câbles (en plein air) ;
- pré-broyage des câbles (en plein air) : le pré-broyeur est approvisionné en câbles à l'aide d'une pelle à grappin via une trémie ;
- atelier de broyage : il comporte deux broyeurs à lames équipés d'un système d'aspiration et produit du cuivre sous forme de granulés.

✓ **ENTREPRISE C** : l'entreprise retraite et valorise des matériaux métalliques principalement ferreux de récupération, de diverses provenances, notamment des chutes d'emboutissage provenant de l'industrie automobile (tôles non peintes et non grasses).

Le processus de traitement se décompose de la manière suivante :

- déchargement des camions et regroupement des matières sur le parc métaux,
- chargement de la trémie alimentant le broyeur à l'aide d'une pelle à grappin,
- broyage dans un broyeur à marteaux muni d'une aspiration,
- élimination des matières non ferreuses et non métalliques par tris magnétiques et trommel,
- dernier tri en cabine de tri manuel.

✓ **ENTREPRISE D** : l'entreprise retraite et valorise des matériaux métalliques en provenance de récupérateurs ou d'usines. L'originalité de l'entreprise réside dans la nature des métaux retraités qui sont principalement des aciers inoxydables (304, 316) ainsi que des aciers hautement alliés (Inconel, Hastelloy, Stellite) et d'autres métaux spéciaux (Ti, Ta, W, Mo, Co). Le processus de traitement se décompose de la manière suivante :

- déchargement des camions et regroupement des matières sur le parc métaux,
- tri des matériaux par utilisation de différentes méthodes de contrôle telles que l'utilisation de « pistolet » à fluorescence X mais aussi tri magnétique ou par étincelage,
- stockage par type de métaux,
- broyage.

✓ **ENTREPRISE E** : l'entreprise retraite et valorise des matériaux métalliques ferreux et non ferreux (Al, Cu, laiton, bronze) de récupération, de diverses provenances (récupérateurs, déchèteries, électroménager, chutes d'usines de transformation, tôles fines) avec un pourcentage de VHU important.

Le processus de traitement se décompose de la manière suivante :

- réception des camions et déchargement sur le parc à métaux,
- triage des métaux assuré par deux grues à grappin,
- alimentation du pré-broyeur par une grue fixe,
- broyage dans un broyeur à marteau muni d'une aspiration des poussières,
- triage par tambour magnétique, trommel et tri à induction,
- triage manuel final en cabine.

✓ **ENTREPRISE F** : l'entreprise regroupe sur le même site diverses activités : négoce de métaux, démolition de petits navires, broyage de bois, recyclage de déchets métalliques. Pour cette dernière activité, l'entreprise possède une presse-cisaille (arrêtée lors de notre intervention) ainsi qu'une installation de broyage alimentée par des VHU (~ 70 %) reçus dépollués et du platinage (~ 30 %). L'installation se compose :

- d'un broyeur à marteaux (3000 CV) alimenté par une grue fixe,
  - de moyens de séparation des différentes fractions issues du broyage :
    - o séparation aéraulique,
    - o séparation magnétique,
    - o criblage,
    - o séparation à courant de Foucault,
  - d'un triage manuel en cabine.
- ✓ **ENTREPRISE G** : l'entreprise retraite tous types de déchets métalliques : VHU dépollués, GEM blanc, chutes d'usine, déchets provenant de déchèteries, platine.
- L'installation est constituée :
- d'un broyeur à marteaux (2000 CV) alimenté par une grue fixe,
  - de séparateurs de fractions : trommell, courant de Foucault,
  - de triage manuel en cabine,
  - d'une presse-cisaille hydraulique pour les déchets métalliques de grande longueur,
  - d'un poste de découpage thermique (chalumeau oxyacétylénique) pour les déchets de gros volume tels que des cuves.

### **3.2 - Résultats des mesures en entreprise**

Les résultats des mesurages sont présentés par opération unitaire et par entreprise (A, B, C, D, E, F et G) aux tableaux 1 à 3.

Les résultats des mesures en ambiance sont présentés tableaux 4 et 5, ces mesures avaient pour but de faire une estimation du caractère « émissif » de certains éléments du process.

### **3.3 - Analyse des résultats**

#### **3.3.1 - Empoussièremment**

Les concentrations de poussières (cf. tableau 1) font apparaitre quelques opérations polluantes : découpage au chalumeau, travaux de maintenance sur le broyeur et sciage avec une scie à disque.

Concernant les opérations unitaires communes aux sept entreprises (conduite du broyeur, conduite d'engin, tri en cabine), on observe que les concentrations de poussières sont généralement peu élevées avec néanmoins la possibilité que la VLEP (10 mg/m<sup>3</sup>) soit dépassée en cabine de tri.

#### **3.3.2 - Concentrations de métaux dans les poussières**

Celles-ci sont très faibles lorsqu'on les compare aux VLEP respectives.

Les opérations pour lesquelles des valeurs dépassant les VLEP sont observées sont les mêmes que pour l'empoussièremment, en particulier le découpage au chalumeau et la maintenance du broyeur avec des concentrations en plomb pouvant atteindre jusqu'à quatre fois la VLEP (100 µg/m<sup>3</sup>) ainsi que le sciage manuel avec scie à disque où la concentration en cuivre est plus de cinq fois supérieure à la VME de cet élément.

### 3.3.3 - Concentrations de COV

Les mesures de COV ont été réalisées dans les trois entreprises où les déchets métalliques retraités comportaient un fort pourcentage de VHU. Les VHU étant plus ou moins bien dépollués lors de leur arrivée dans l'entreprise, plusieurs opérations étaient susceptibles d'exposer les salariés concernés à des composés organiques volatils provenant des fluides (essence, gas-oil) contenus dans les VHU.

Les mesures effectuées aux postes de travail concernés montrent que les concentrations des COV recherchés sont très faibles : la valeur la plus élevée mesurée pour le benzène (1,2 mg/m<sup>3</sup> au poste de dépollution) n'atteignant pas 40 % de la VLEP de ce composé.

## 4 - DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'étude réalisée a permis d'estimer l'exposition à divers polluants subie par les salariés d'entreprises de la filière de recyclage des déchets métalliques.

Les entreprises ayant fait l'objet de mesures d'exposition sont toutes centrées autour de l'activité de broyage des déchets.

Malgré une certaine variabilité dans la nature des matériaux retraités et dans les méthodes de retraitement, il a pu être établi l'existence de quelques opérations unitaires communes à la plupart des entreprises étudiées :

- conduite du broyeur en cabine climatisée,
- conduite d'engins (grue, pelle, chargeur) servant à la manipulation des déchets avant et après broyage,
- tri en cabine de façon manuelle.

Les mesures effectuées n'ont pas fait apparaître de fortes expositions pour les salariés occupés de façon régulière à ces opérations, ce qui n'exclut pas la possibilité que l'empoussièrement dépasse la VME (10 000 µg/m<sup>3</sup>) à certains postes de travail tel que le tri manuel en cabine. Parmi les facteurs à l'origine de la grande variabilité des expositions en cabine de tri, il faut signaler l'influence des conditions de captage et ventilation dans ces cabines comme le montrent les résultats du tableau 5. Des solutions en matière d'assainissement des atmosphères de cabines de tri doivent être privilégiées par la mise en place d'installation de captage.

Des mesures de polluants en quelques points d'ambiance ont été réalisées (cf. tableau 4) qui montrent l'existence de quelques points « émissifs », cependant il s'agit d'emplacements où il n'y a pas de présence permanente d'opérateur, seules des interventions ponctuelles pour maintenance y étant prévues.

Par contre, d'autres opérations ayant un caractère plus ponctuel, telles que la maintenance du broyeur, le sciage avec disqueuse ou le découpage au chalumeau de déchets de grande dimension, apparaissent comme susceptibles d'exposer leurs opérateurs à des concentrations en polluants constituant un risque chimique. Cette dernière opération réalisée en plein air nécessite le port d'un masque efficace, par exemple à air filtré, tout en tenant compte de l'exigence, pour un chalumiste, d'avoir simultanément une protection oculaire contre le rayonnement et les projections.

## 5 - BIBLIOGRAPHIE

- [1] Echantillonnage des aérosols - Echantillonnage individuel d'un aérosol par « cassette fermée ». INRS, Metropol, fiche H2, 2004.
- [2] Concentration pondérale d'un aérosol. INRS, Metropol, fiche 002, 2009.
- [3] Métaux - Métalloïdes. INRS, Metropol, Fiche 003, 2008.
- [4] Mélanges de vapeurs d'hydrocarbures C6 à C12. INRS, Metropol, fiche 055, 2009.
- [5] Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. INRS, ED 984, 2007.
- [6] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2010 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents, ACGIH, Cincinnati.

Opération unitaire	A	B	C	D	E	F	G
	Min Max (mg/m <sup>3</sup> )						
Réception des ferrailles	NC	NC	0,31 0,31	NC	1,2 3,3	NC	NC
Conduite du broyeur à ferrailles	NM	0,34 0,34	0,12 0,32	NC	0,15 0,24	0,29 3,0	< 0,1 0,32
Conduite du broyeur à câbles	NC	1,45 3,3	NC	NC	NC	NC	NC
Conducteur d'engin (grue, pelle)	NM	0,18 0,36	< 0,21 0,27	NC	0,57 2,2	0,18 0,82	0,03 2,8
Conducteur d'engin (chargeur)	NM	NC	NC	NC	0,90 2,2	0,33 0,57	1,0 5,2
Trieur en cabine	NM	0,78 1,44	0,33 1,0	NC	0,85 <b>35,0</b>	1,1 4,4	0,32 <b>15,8</b>
Conducteur de presse-cisaille	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0,12 0,55
Dépollution GEM	NC	NC	NC	NC	1,8 2,8	NC	NC
Découpage thermique au chalumeau	NC	3,5 <b>6,4</b>	NC	NC	NC	NC	2,9 <b>5,9</b>
Contremaître, chef d'équipe	NM	NC	NC	NC	3,6 6,9	0,24 0,80	NC
Cisaillage	NC	NC	NC	1,34 2,52	NC	NC	NC
Maintenance et entretien du broyeur	NM	NC	NC	NC	<b>16,0</b> <b>16,0</b>	NC	NC
Tri : sur parc, sur table (pistolet fluo X)	NC	NC	NC	0,09 4,0	NC	NC	NC
Activités multiples	NC	NC	NC	0,35 3,4	NC	NC	NC
Conduite de four de fusion d'aluminium	NC	0,64 0,64	NC	NC	NC	NC	NC
Sciage de câbles avec disceuse	NC	NC	NC	NC	NC	NC	<b>11,8</b> <b>19,0</b>

Tableau 1 - Concentrations de poussières inhalables

Opération unitaire	Métal	A Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	B Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	C Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	D Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	E Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	F Min Max (µg/m <sup>3</sup> )	G Min Max (µg/m <sup>3</sup> )
Réception des ferrailles	Fe			13 - 81		72 - 362		
	Pb			< LD		3,2 - 11,9		
	Zn			< LD - 26		9,8 - 34,6		
Conduite du broyeur à ferrailles	Fe	128 - 335	23	1 - 48		4,9 - 20,6	10 - 96	7 - 21
	Zn	5 - 12	9	3 - 84		0,1 - 3,4	5 - 18	0,5 - 3,1
Conduite du broyeur à câbles	Cu		232 - 720					
Conducteur d'engin (grue, pelle)	Fe	62 - 403	12 - 91	5 - 25		35 - 142	13 - 102	2,4 - 246
	Pb	1 - 35	1 - 17	< LD		1,7 - 6,6	0,1 - 2	0,1 - 9
	Zn	3 - 306	< LD - 14	10 - 53		3,8 - 17,4	1 - 12	0,2 - 33
Conducteur d'engin (chargeur)	Fe	153 - 1231				104 - 148	19 - 35	111 - 832
	Pb	1 - 3				4,1 - 8,3	1 - 1	6,3 - 36
	Zn	7 - 32				14,6 - 22,5	3 - 7	16,3 - 93
Tri en cabine	Fe	42 - 2363	21 - 325	6 - 28		96 - 3083	13 - 1074	34 - 1817
	Pb	3,1 - 11,1	3,1 - 18	0,03 - 0,13		5,0 - 49,3	0,4 - 29	1,6 - 116
	Zn	14 - 72	1 - 30	18 - 48		14,5 - 408	3 - 252	5,8 - 337
Conduite d'une presse-cisaille	Fe							50 - 90
	Zn							4,6 - 6,4
Dépollution GEM	Fe					133 - 21		
	Zn					24,4 - 60		
Découpage thermique au chalumeau	Fe		23 - 1981					394 - 1871
	Pb		8 - 447					2,3 - 8,3
	Zn		52 - 990					5,9 - 33
Contremaître, chef d'équipe	Fe	248 - 4402				598 - 2512	279 - 516	
	Pb	2 - 13				11,2 - 60,1	7 - 17	
	Zn	7 - 97				107 - 140	56 - 116	
Cisailage	Co				3,7 - 13,0			
	Fe				222 - 397			
	Ni				23,3 - 64			
Maintenance et entretien du broyeur	Cu	124				22		
	Fe	<b>10025</b>				3246		
	Mn	184				43,6		
	Pb	24				<b>113</b>		
	Zn	209				284		

Tableau 2 - Concentrations en métaux dans les poussières

Par rapport aux douze éléments métalliques systématiquement analysés dans les poussières, nous avons choisi de ne présenter que ceux pour lesquels les concentrations atteignaient des valeurs significatives c'est-à-dire supérieures à 5 % de la VLEP respective du métal.

Opération unitaire	Métal	A	B	C	D	E	F	G
		Min Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
Tri : sur parc, sur table (pistolet fluo X)	Co				0,07 - 46,0			
	Fe				19 - 665			
	Ni				0,76 - 338			
Activités multiples	Fe				20 - 341			
	Ni				2,9 - 43,7			
Conduite de four de fusion d'aluminium	Al		61 - 276					
	Pb		3 - 33					
Sciage de câbles avec disqueuse	Cu							207 - 5168
	Pb							55 - 76

Tableau 2 (suite) - Concentrations en métaux dans les poussières

Opération unitaire	COV	E	F	G
		min - max ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	min - max ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	min - max ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Poste de conduite du broyeur	benzène	< LD - 0,02		
	ethylbenzène	0,00 - 0,02		
	n-hexane	0,01 - 0,03		
	toluène	0,46 - 0,56		
	xylènes	0,03 - 0,09		
Dépollution des VHU	benzène	0,17 - <b>1,20</b>		
	ethylbenzène	0,22 - 1,83		
	n-hexane	0,12 - 1,24		
	toluène	0,75 - 8,12		
	xylènes	0,8 - 7,07		
Conducteur de grue: dépollution des VHU sur parc à métaux	benzène		0,01 - 0,01	0,3 - <b>0,63</b>
	ethylbenzène		0,01 - 0,09	0,06 - 0,62
	n-hexane		0,00 - 0,01	0,02 - 0,60
	toluène		0,16 - 0,22	0,32 - 4,36
	xylènes		0,06 - 0,25	0,37 - 2,88
Tri en cabine	benzène	< LD - 0,05	0,01 - 0,04	0,02 - 0,03
	ethylbenzène	0,00 - 0,14	0,01 - 0,26	0,01 - 0,48
	n-hexane	0,00 - 0,02	0,00 - 0,01	0,01 - 0,07
	toluène	0,38 - 1,54	0,12 - 1,56	0,09 - 0,39
	xylènes	0,03 - 0,55	0,09 - 1,04	0,16 - 0,82

Tableau 3 -  
Concentrations en COV

Point d'émission	Polluant	A Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	C Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	E Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	F Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	G Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Trommel	Poussières Fer Plomb Zinc			8500 - 12000 853 - 1174 52 - 72 102 - 148		3700 457 37 99
Dépoussiéreur	Poussières Fer Plomb Zinc		150 - 620 29 - 90 < LD 51 - 177	7600 - 10000 674 - 1230 33 - 39 75 - 150		
Tri automatique (magnétique, induction)	Poussières Fer Plomb Zinc	N.M. 831 - 7140 3,1 - 27 14 - 213			260 - 1200 24 - 228 1,9 - 7,6 4,5 - 52	

N.M. : Non mesuré

Tableau 4 - Concentrations en ambiance en divers points d'émission de polluants

Point d'émission	Polluant	Concentration mesurée Min-Max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Tri manuel (avec captage)	Poussières Fer Plomb Zinc	1900 - 3100 73 - 160 1,6 - 5,3 9,3 - 19,4
Tri manuel (sans captage)	Poussières Fer Plomb Zinc	7700 - <b>18000</b> 892 - 2250 57 - <b>205</b> 199 - 579

Tableau 5 - Concentrations ambiantes dans deux types de cabine de tri (entreprise G)

## 6 - ANNEXE

SUBSTANCE	VME France [5] mg/m <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	TLV-TWA ACGIH [6] mg/m <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Poussières inhalables (sans effet spécifique)	10 (10000)	...
Al : métal	10 (10000)	...
Cd : métal et composés (en Cd)	0,05 (50)	0,01 (10)
Co : métal et composés inorganiques (en Co)	...	0,02 (20)
Cr : métal, composés inorganiques (CrII, Cr III)	2 (2000)	0,5 (500)
Cu : poussières (en Cu)	1 (1000)	1 (1000)
Fe : métal, poussières	10 (10 000) (a)	...
Fe : trioxyde de di-, fumées (en Fe)	5 (5000)	...
Mn : fumées	1 (1000)	...
Mn : métal et composés inorganiques (en Mn)	...	0,2 (200)
Mo : métal et composés insolubles	...	10 (10000)
Ni : métal	1 (1000)	0,5 (1500)
Pb : métal et composés	0,1 (100)	...
Pb : métal et composés inorganiques	...	0,05 (50)
V : poussières et fumées (en V2O5)	0,05 (50)	0,05 (50)
Zn : oxyde de, fumées	5 (5000)	...
Zn : métal	10 (10000) (a)	...
Benzène	3,25	1,625
Ethylbenzène	442	88,4
n-Hexane	72	72
Toluène	192	76,8
Xylène	221	442

Valeurs limites en vigueur à la date des mesurages