

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DE MÉDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTÉ

ANNÉE : 2023

N° : 93

THÈSE

PRÉSENTÉE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE

DOCTEUR EN MÉDECINE

Diplôme d'État

Mention DES de Médecine du Travail

PAR

DUQUESNEL Boris

Né le 10/03/1991 à Châteauroux

Exposition aux risques chimiques dans une usine d'incinération

d'ordures ménagères :

Évaluation de l'exposition des salariés travaillant à la maintenance

et à l'exploitation

Présidente de thèse : Pr Maria GONZALEZ

Directrice de thèse : Dr Azra HAMZIC

Co-Directrice de thèse : Dr Stéphanie KLEINLOGEL



FACULTÉ DE MÉDECINE, MÉDECINE MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTÉ

Édition septembre 2022
Année universitaire 2022-2023

- **Président de l'Université** : M. BOERENS Michel
- **Doyen de l'université** : M. BRUN Jean
- **Premier Vice-Doyen de la Faculté** : M. BOUILLON Thierry
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. MARTZ Jean-Marie
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. VINCIGUERRA Sylvain
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. GONNARD Pierre
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. LEBLANC Gilles
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. ACCIARI Olivier
- **Deuxième Vice-Doyen de la Faculté** : M. STEINBAUM Geoffrey



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
15, AVENUE DE LA FOIRE
67000 STRASBOURG
Directeur général : M. GALTIERO

A1 - PROFESSEUR TITULAIRE DU COLLEGE DE FRANCE

HAUJOU Jean-Louis : Histoire "généraliste" humaine (à compter du 01.11.2023)

A2 - MEMBRE SENIOR A L'INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FRANCE (I.U.F.)

BARON Séverin : Médecine pédiatrique
WITTE Sabine : Médecine pédiatrique

A3 - PROFESSEUR(ES) DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (PU-PH)

Nom et Prénoms	USP	Services hospitaliers ou autres / localisation	Secteur-clinique / Spécialité / Discipline universitaire
AGARD Thierry	0110 03	- Pôle de l'Appareil Digestif - Service d'Urgences gastro-entérologiques / I-UP	20.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
AGARD-CHERET	0110 03	- Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Service de Gynécologie-Obstétrique / I-UP	04.03 Gynécologie Obstétrique / gynécologie médicale 03.01 Gynécologie-Obstétrique
AGUIER Emmanuel	0111 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques, Pathologies - Urologie Infectieuses - Service de Médecine Interne, Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques	03.01 Médecine Interne
AGUIER Nicolas	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	40.01 Anesthésie
AGUIER Nicolas-Olivier	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Pathologie Infectieuse et Parasitaire - Institut d'Urologie / I-UP de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques	03.01 Gynécologie, Obstétrique et Gynécologie Médicale 03.01 Biologie Cellulaire
AGUIER Olivier	0110	- Pôle d'Imagerie - Service de Radiothérapie / I-UP	47.01 Cancérologie, Radiothérapie
AGUIER Sébastien	0110 03	- Pôle d'Imagerie - Service de Radiologie / I-UP	03.01 Radiologie
AGUIER Stéphane	0110 03	- Pôle des Pathologies Digestives, Hépatiques et de la Transplantation - Service de Chirurgie Générale, Hépatopancréatobiliaire et Transplantation	03.01 Chirurgie Générale
AGUIER Vincent	0110 03	- Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Clinique / I-UP de Biologie - Service d'Immunologie et Pathologie / I-UP de Biologie	07.04 Immunologie (généraliste)
AGUIER Thomas	0110 03	- Pôle Hépatogastro-entérologie / I-UP - Institut de Recherche sur les Maladies Hépatiques et Digestives	03.01 Hépatogastro-entérologie 03.01 Hépatologie
AGUIER Valérie-Christine	0110 03	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie Moléculaire / I-UP	44.01 Biologie Cellulaire (généraliste)
AGUIER Yann	0110 03	- Pôle d'Imagerie - CHU / I-UP de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Pôle de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	47.01 Radiothérapie et Imagerie Médicale (généraliste)
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Chirurgie Pédiatrique / I-UP de Soins de Support	04.03 Chirurgie Pédiatrique
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Psychiatrie / I-UP de Soins de Support	43.01 Psychiatrie d'adultes, Pédiatrique 03.01 Psychiatrie d'adultes
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Psychiatrie / I-UP de Soins de Support	43.01 Psychiatrie d'adultes
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	40.01 Anesthésie et Soins de Support (généraliste)
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	03.01 Hépatologie / Médecine d'urgence 03.01 Hépatologie / Médecine d'urgence
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	03.01 Médecine Interne (généraliste) 03.01 Médecine Interne (généraliste)
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	03.04 Chirurgie Pédiatrique, Pédiatrique 03.04 Pédiatrique / Pédiatrique
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	54.01 Pédiatrie
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	03.01 Chirurgie orthopédique et traumatologique
AGUIER Yannick	0110 03	- Pôle de Maladies Infectieuses, Parasitaires, Mycologiques - Service de Soins de Support / I-UP de Soins de Support	03.01 Otorhinolaryngologie

NOM et Prénoms	CS*	Services Hospitaliers ou cliniques / Localisation	leur secteur du conseil National des Universités
BOUAFIA Houda	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil Digestif - CHU - Service de Gastrologie - Centre de Diagnostic et de Transplantation	45.01 Neurologie
BOUASSAOU Abdel	NPR NCS	+ Pôle des hématologie digestives, hépatiques et de transplantation - Service de Hépatologie, hépatique et de Transplantation / HP	33.01 Chirurgie générale
BOUAFIT FERED Catherine	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de chirurgie orthopédique et de l'Appareil locomoteur / HP	10.04 Cyrie - chirurgie générale, reconstructive et orthopédique
BOU OUKLA OUKRAMI Sophie	NPR NCS	+ Pôle des spécialités médicales (généraliste) / SMO - Service de Méthodologie, Biologie et Transplantation / SMC	32.01 Méthodologie
CHETANI Youssef	NPR NCS	+ Pôle Oncologie - Services des néoplasmes / Centre antitumoral - Service de Médecine médicale / Hôpital de l'Université	49.01 Anatomie
CHAME Madi	NPR CS	+ Pôle d'activités médicales chirurgicales cardio-vasculaires - Serv. de Neurologie vasculaire et de transplantation rénale / HUC	31.04 Chirurgie vasculaire , médecine vasculaire, hépatologie, chirurgie vasculaire
CHARRAS Youssef-Hélène	NPR NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Neurologie de l'adulte / Centre de Diagnostic / HUC	36.01 Chirurgie orthopédique et traumatologie
CHEROUATI Caroline	NPR NCS	+ Pôle de Pathologie thoracique - Service de Hépatologie et d'explorations fonctionnelles / HUC	44.01 Médecine générale (généraliste)
CHEROUATI Aline	NPR NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Serv. d'Orthopédie, hépatologie et de Chirurgie cardio-vasculaire / HP	45.01 Médecine générale
CHEROUATI-ELI Houda-Berthe	NPR CS	+ Pôle de Neurologie - Service de Neurologie / Hôpital de l'Université	37.01 Anatomie et physiologie pathologiques (système circulatoire)
CLAUDON Pierre	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Service d'Orthopédie-traumatologie du membre supérieur / HUC	42.01 Anatomie (système circulatoire, orthopédie, traumatologie)
COLLAGE Olivier	NPR NCS	+ Pôle (Anatomie) / Informations chirurgicales (SANTÉ-SM) / - Service d'Anatomologie (Généraliste) / Centre de Diagnostic / HUC	46.01 Anatomologie-généraliste , médecine d'urgence (centre des soins d'urgence, traumatologie type clinique)
COMBRESSES Nadia	NPR NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Centre d'Investigation Clinique / Hôpital de l'HP	49.01 Neurologie
CHEROUATI Youssef	NPR CS	+ Pôle d'ophtalmologie, dermatologie et dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital CHU	70.01 Dermatologie-dermatologie
DEBAY DA DAUFREDEL	NPR CS	+ Pôle de Pathologie thoracique - Service de Pneumologie / Hôpital de l'Université	31.01 Pneumologie
DE SAÏB Adrien	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Centre de l'Investigation Clinique (CIC) - ANU / Hôpital de l'Université	46.01 Médecine
DEBAY Youssef	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Serv. d'Orthopédie-fonctionnelle et de chirurgie de l'Appareil locomoteur / HP	35.01 Orthopédie-chirurgie
DEBALLE Huguette	NPR NCS	+ Pôle de gynécologie-obstétricale - Service de gynécologie-obstétrique / Hôpital de l'Université	25.01 gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale, gynécologie-obstétrique
DEBAY YOUSSEF HANNA HANNA	NPR CS	+ Pôle de Neurologie - Service de Services Médicaux / Hôpital de l'Université	47.04 Médecine type clinique
DELOSTER Mathieu	NPR NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Service d'Orthopédie-traumatologie du membre inférieur / HP	30.01 Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
DELOSTER MOUNA BOUCHA	NPR NCS	+ Pôle médico-chirurgical de l'adulte - Service de Pédiatrie / Hôpital de l'Université	34.01 Pédiatrie
DELOSTER Youssef	NPR CS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Service de Chirurgie de la main - Hôpital de l'Université / Hôpital de l'Université	30.01 Chirurgie orthopédique et traumatologie
DELOSTER Youssef Samia	NPR CS	+ Pôle de Neurologie - Laboratoire d'Etudes de Neurologie / Hôpital de l'Université	45.01 Neurologie, Neurologie, hygiène hospitalière (centre des soins d'urgence-Neurologie clinique)
DELOSTER Youssef	NPR NCS	+ Pôle de Pathologie digestive, hépatiques et de transplantation - Serv. de chirurgie générale, hépatique et de transplantation et Transplantation / HP	33.01 Chirurgie générale
DELOSTER Youssef Françoise	NPR NCS	+ Pôle de Pathologie thoracique - Service de Neurologie (Généraliste) / Hôpital de l'Université	31.01 Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DELOSTER Youssef Nadia	NPR NCS	+ Pôle d'Orthopédie - Service d'Orthopédie / Hôpital de l'Université	47.01 Hématologie - transfusion Généraliste - Hématologie
GALIB Boudou	NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur - Hôpital de l'HP	43.01 Ophtalmologie et Imagerie ophtalmologique
GALIB Youssef	NPR CS	+ Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie à Interventionnelle / Hôpital de l'Université	43.01 Radiologie et Imagerie médicale (généraliste)
GARIBI Youssef	NPR NCS	+ Pôle d'Imagerie - Service d'Imagerie à Interventionnelle / Hôpital de l'Université	43.01 Radiologie et Imagerie médicale (généraliste)
GARIBI Youssef	NPR NCS	+ Pôle des spécialités médicales - (généraliste) / SMO - Service d'Orthopédie / Hôpital de l'Université	35.01 Orthopédie
GHY Boudou	NPR CS	+ Pôle de Pathologie thoracique - Service de Neurologie et d'explorations fonctionnelles / HUC	44.01 Médecine générale (généraliste)
GHY Youssef	NPR NCS	+ Pôle de l'Appareil locomoteur (chirurgie) Cardio-vasculaire - Serv. de Chirurgie vasculaire et de transplantation rénale / HUC	31.04 Chirurgie vasculaire , médecine vasculaire, hépatologie, chirurgie vasculaire
GHYBEL Othman	NPR CS	+ Pôle médico-chirurgical de l'adulte - Service de Neurologie Pédiatrique / Hôpital de l'Université	34.01 Chirurgie Pédiatrie
GHYBEL Youssef	NPR CS	+ Pôle de Médecine générale, Rhumatologie, Pédiatrie, Endocrinologie, Gynécologie, Néphrologie - Service de Médecine générale et de pédiatrie / HP	34.01 Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
GHYBEL Youssef	NPR CS	+ Pôle de Santé publique et santé au travail - Service de Pathologie Professionnelle et Médicale du Travail / HUC	46.01 Médecine et santé au travail

NOM et Prénoms	CS ¹	Services hospitaliers ou Institut / Spécialisation	Sous-section du carnet national des Universités
QUÉLIN Denis-Jacques	RR15 CS	+ Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, - Radiologie (IRM/TE) - Service de Rhumatologie / Institut Haemato	30.05. Médecine
LAURENTIN Marie-Christine	RR15 CS	+ Pôle de Spécialités Médicales – Ophtalmologie / MO - Service de Néphrologie-Dialyse et Transplantation / HEC	30.05. Néphrologie
FARIBANZI Yves	RR15 RC1	+ Pôle de Spécialités Médicales – Ophtalmologie / MO - Service des Maladies Infectieuses et Tropicales / HEC	45.04. Ophtalmologie Infectieuse
WENZ HÉLÈNE Julie	RR15 RC1	+ Pôle Urgences – Réanimation, Médecins / Centre d'urgence - Service de Réanimation Médicale / Hôpital Général Civil	48.03. Médecine Intensive-Réanimation
LAFFITTE Olivier	RR15 RC1	+ Pôle Dérivés – DTC - Service de Neurologie / Hôpital de Neurologie	48.03. Neurologie
IMBERT Gilles	RR15 RC1	+ Pôle Diagnostic - Service de Médecine Interne et Imagerie (Médecine / HEC)	43.04. Radiologie et médecine nucléaire
LENGUÉRONNET Marie-Françoise	RR15 CS	+ Pôle de Médecine Physique et de Réadaptation - Institut d'Orthopédie de Réadaptation / Universitat	45.05. Médecine Physique et Réadaptation
LAURENT Daniel	RR15 CS	+ Pôle de Diagnostic - Institut d'Orthopédie de Réadaptation / HEC HUS et HECHE	45.05. Ophtalmologie Infectieuse (Oncologie)
WENZ JEAN-PIERRE Raphaël	RR15 RC1	+ Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, - Radiologie (IRM/TE) - Service d'Endocrinologie, Diabète et Nutrition / HEC	34.04. Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
WENZ JEAN-PIERRE Laurent	RR15 RC1	+ Pôle d'actes médicaux – orthopédie de la main - Service de Cardiologie / Hôpital Général Civil	33.03. Cardiologie
HALTENBACH Georges	RR15 CS	+ Pôle de Diagnostic - Service de Médecine Interne – Service / Institut de la Maladie - Centre d'évaluation – Maladie / Hôpital de la Maladie	32.04. Oncologie générale et biologie du vieillissement
WENZ ROBERT Laurence	RR15 RC1	+ Pôle de Médecine Interne, Rhumatologie, Nutrition, Endocrinologie, - Radiologie (IRM/TE) - Service d'Endocrinologie, Diabète, Nutrition et Maladies (HUS, B, C, D)	34.04. Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
ROBERT Robert	RR15 RC1	+ Pôle de Pathologie Transcrite - Service de Pneumologie / Hôpital Général Civil	33.04. Pneumologie
WENZ Michel	RR15 RC1	+ Pôle d'actes médicaux – chirurgie cardiaque-vasculaire - Service de Chirurgie Cardiovasculaire / Hôpital Général Civil	33.04. Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
WENZ ROBERT Jean-Philippe	RR15 CS	+ Pôle de Spécialités Médicales – Ophtalmologie / MO - Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / HEC	47.05. Immunologie (Ophtalmologie)
BREMER Stéphane	RR15 CS	+ Pôle d'Imagerie - Service Imagerie II – Neurologie Spéciale – Radiologie / HEC	43.04. Radiologie et Imagerie Médicale (Ophtalmologie)
WENZ ROBERT	RR15 CS	+ Pôle médical – chirurgie de l'obésité - Service de Neurologie et Neurochirurgie (Radiologie / HEC)	34.04. Radiologie
WENZ Jean-Christophe	RR15 RC1	+ Pôle d'Actes Neurologiques - Service d'Orthopédie / HEC	47.03. Orthopédie Neurologique (HUS/EC)
WENZ LAURENT Laurence	RR15 CS	+ Pôle de Psychiatrie, Santé Mentale et Addictologie - Service de Radiologie / Hôpital Civil	45.03. Psychiatrie d'adultes / Addictologie (Ophtalmologie)
LAURENT Marie	RR15 RC1	+ Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique / Chirurgie maxillo-faciale, Neurologie et Dermatologie - Service de chirurgie plastique / Hôpital Général Civil	32.04. Chirurgie
LAURENT Vincent	RR15 CS	+ Pôle médical – chirurgie de l'obésité - Service de Pédiatrie / Hôpital de Pédiatrie	33.04. Pédiatrie
WENZ LEONIE Anne	RR15 RC1	+ Pôle d'actes médicaux – chirurgie de la main - Service de Dermatologie vasculaire et de Transplantation de Peau / HEC	34.04. Dermatologie chirurgicale
LE WENZ Jean-Philippe	RR15 RC1	+ Pôle d'Imagerie - Institut d'assistance Hospitalière / HEC de Médecine - Service de Neurologie, d'Imagerie, d'Orthopédie et de Pédiatrie (HUS/EC)	43.04. Anatomie
LESTANGÉ Marie-Madeleine	RR15 RC1	+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biologie générale et spécialisée / HEC / HEC - Laboratoire de Recherche de Santé Préventive / HEC/Paris	30.03. Biologie (Biologie Préventive)
LESTANGÉ Jean	RR15 RC1	+ Pôle de Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique / Chirurgie maxillo-faciale, Neurologie et Dermatologie - Service de Dermatologie / Hôpital Civil	30.04. Dermatologie
LAURENT Marie-Françoise	RR15 RC1	+ Pôle de Spécialité Neurologie - Service de Chirurgie de la Main – SOS Main / Hôpital de la Maladie	30.04. Chirurgie orthopédique et neurologique
WENZ Jean-Philippe	RR15 RC1	+ Pôle d'Actes Neurologiques - Service d'Orthopédie médicale / HEC	43.03. Oncologie, Neurologie, Biologie et Dermatologie
WENZ Renaud	RR15 RC1	+ Pôle de Diagnostic - Département génétique foetale et cancer / HEC	30.05. Biologie et médecine du développement et de la reproduction (Ophtalmologie)
WENZ Marie-Christine	RR15 RC1	+ Pôle de Spécialités Médicales – Ophtalmologie / MO - Service de Médecine Interne et d'Immunologie Clinique / HEC	47.03. Immunologie (Ophtalmologie)
WENZ Marie-Claire Françoise	RR15 RC1	+ Pôle de Pathologie Transcrite - Service de Pédiatrie / Hôpital Général Civil	33.04. Pédiatrie / Addictologie
WENZ PATRICK Gilles	RR15 CS	+ Pôle de Gynécologie-Obstétrique - Unité de Gynécologie / HEC	33.03. Gynécologie-Obstétrique / Gynécologie Médicale
WENZ Jean-Christophe	RR15 CS	+ Pôle d'Actes Neurologiques - Recherche d'Immunologie Biologique – Hôpital de Pédiatrie - Institut d'Immunologie / Hôpital de Pédiatrie	47.03. Hématologie, transfusion, Oncologie Neurologie et Biologie

NOM et Prénoms	Cl ^{re}	Services hospitaliers ou institut / Localisation	Sous-section du Conseil national des universités
GAUCHER Michel	BRP BIC	- Pôle de spécialités médicales - Ophtalmologie / CHU - Service d'ophtalmologie / Hôpital Hôtel Dieu	15.10 Ophtalmologie
GAUBERT Sébastien	BRP BIC	- Pôle de santé publique (ressort du travail) - Service de santé publique / Hôpital Hôtel Dieu - Biostatistiques et informatique / Faculté de médecine / CHU	46.04 Médecine, information médicale et technologies de communication (sciences biologiques)
GAZDARU Christian	BRP CI	- Pôle d'Ecologie, Microbiologie et Biomatériaux - Service de Chirurgie (orthopédie) / Hôpital Hôtel Dieu	12.00 Ecologie
GHISLAIN Gilles	BRP CI	- Pôle de Spécialités Médicales - Endocrinologie / CHU - Service d'Endocrinologie / Hôpital Hôtel Dieu	15.00 Endocrinologie
GHISLAIN Guillaume	BRP BIC	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biogéochimie / Service d'Hygiène	17.00 Géologie (sciences biologiques)
GHISLAIN Nicolas	BRP CI	- Pôle Médecine - Neurologie (médecine) / Centre de rééducation - Service de rééducation médicale / Hôpital Hôtel Dieu	46.02 Neurologie
GHISLAIN Damien	BRP CI	- Pôle de Psychiatrie et psychiatrie mentale - Service de psychothérapie pour enfants et adolescents / CHU	45.00 Psychiatrie / Addictologie
GHISLAIN Philippe	BRP BIC	- Pôle Spécialité - STP - Service d'OTC-Micro-angiologie et de Chirurgie endo-vasculaire / CHU	15.01 Otorhinolaryngologie
GHISLAIN Sylvain	BRP CI	- Pôle des Maladies chroniques, hépatopneumologie et transplantation - Service d'hepatogastroentérologie et d'endocrinologie / Hôpital Hôtel Dieu	12.04 Gastro-entérologie - Hépatologie / Andrologie (sciences biologiques)
GHISLAIN Jean	BRP BIC	- Pôle de Médecine interne, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Gériatrie (médecine) - Service de Rhumatologie / Hôpital Hôtel Dieu	15.01 Rhumatologie
GHISLAIN Dominique	BRP CI	- Pôle d'activités médicales - Chirurgie Cardio-vasculaire - Service des Maladies vasculaires - CHU Hôtel Dieu / Centre CHU	13.04 Ophtal. Médecine - Oculiste
GHISLAIN Laurent	BRP CI	- Pôle STP et CHU - Service de radiologie / Hôpital Hôtel Dieu	46.03 Radiologie
GHISLAIN Michel	BRP BIC	- Pôle d'ophtal. - Service d'ophtal. - Oculopneumologie, OTC, endocrinologie / CHU	45.04 Ophtal. en médecine médicale (sciences biologiques)
GHISLAIN Michel	BRP BIC	- Pôle de santé publique (ressort du travail) - Département de santé publique / Bureau 3 - Département de santé publique - Service Hospitalier - Laboratoire d'épidémiologie et de santé publique / Hôpital Hôtel Dieu	46.04 Épidémiologie, étiologie de la santé et prévention (sciences biologiques)
GHISLAIN Jean	BRP BIC	- Pôle de Médecine interne, Rhumatologie, Néphrologie, Endocrinologie, Gériatrie (médecine) - Service de Médecine Interne, Dialyse et Maladies métaboliques / CHU	15.01 Médecine - Gériatrie / Endocrinologie
GHISLAIN Pierre	BRP CI	- Pôle de pédiatrie et de santé mentale - Service de psychiatrie / Hôpital Hôtel Dieu - Psychiatrie / Hôpital Hôtel Dieu	45.02 Psychiatrie / Addictologie
GHISLAIN Stéphane	BRP BIC	- Pôle de Biologie - Laboratoire de Biologie et de Technologies moléculaires / Service	17.00 Biologie et médecine du développement et de la reproduction (sciences biologiques)
GHISLAIN Franck	BRP CI	- Pôle de Santé - Service de soins de suite et rééducation pédiatrique / Hôpital Hôtel Dieu	13.04 Ophtal. Gériatrie et Maladies du vieillissement
GHISLAIN Christophe Pierre	BRP CI	- Pôle de Spécialités Médicales - Endocrinologie / CHU - Service de médecine interne / Hôpital Hôtel Dieu	15.01 Ophtal. Maladies Internes
GHISLAIN Franck	BRP BIC	- Pôle des Maladies chroniques, hépatopneumologie et transplantation - Service de Chirurgie Générale et de Transplantation Multi-Organes / CHU - Coordinateur des activités de prélèvements et transplantations des MO	12.00 Chirurgie générale
GHISLAIN Stéphane	BRP CI	- Pôle STP / CHU - Pôle Neurologie / Hôpital Hôtel Dieu	46.04 Neurologie

CHU : Hôpital CHU - Hôpital de Hautepierre - BRP : Hôpital Hôtel Dieu - CHU - Hôpital de Neurologie

CI : Chef de service / Chef de service hospitalier / CHU - CHU - Chef de service / Hôpital Hôtel Dieu - CHU - Chef de service / Hôpital Hôtel Dieu

CHU : Hôpital Hôtel Dieu

CI : Pôle de santé publique (ressort du travail) - Non imputable de CHU

CHU : Laboratoire hospitalier / Département des Travaux de Recherche en Santé Publique de CHU

CHU : Service

AI - PROFESSEUR ASSOCIÉ DES UNIVERSITÉS

NOM et Prénoms	Cl ^{re}	Services hospitaliers ou institut / Localisation	Sous-section du Conseil national des universités
CHATELIERE	BRP CI	- Pôle Spécialités Médicales - Ophtalmologie / CHU - Service de soins palliatifs / CHU	46.03 Médecine palliative
CHATELIERE Sébastien	CI	- Pôle d'ophtal. et gestif - Service de Gastro-Entérologie / CHU	12.02 Gastro-entérologie
CHAVIERE	CI	- Pôle STP / CHU - Centre d'expertise et de traitement de la douleur / CHU	46.04 Néurologie, Médecine des Maladies, Addictologie

01 - MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS (MCU-PH)

NOM et Prénoms	IS*	Services hospitaliers ou Institut / Localisation	Sub-section du Conseil National des Universités
AGN Amand		+ Pôle d'urgence - Centre de référence diabète et maladies métaboliques / CHU	01.01 Biochimie et Médecine nucléaire
Mme ANNE-BÉRENGÈVE		+ Pôle de Pharmacologie - Unité de Pharmacologie Clinique / Faculté de Médecine	01.01 Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; toxicologie 20.01 Anatomie fondamentale
BENOÎTANE Eric		+ Médecine spécialisée maladies hépatobiliaires / CHU - Service de Hépatologie-Transplantations / CHU	04.01 Hépatologie
Mme BÉGIN-CASASOLANO		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic Génétique / Hôpital Régional	07.04 Génétique (génomique humaine)
BLANCHET Sylvie		+ Pôle d'urgence - Centre de référence diabète et maladies métaboliques / CHU	01.01 Biochimie et médecine nucléaire (génomique)
BOUCHARD Olivier		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Chimie et de Biologie moléculaire / CHU	04.01 Biochimie et Biologie moléculaire
BOUTIER Pierre		+ Pôle de Biologie - Institut de Recherche / Institut de Recherche	05.01 Biochimie-Virologie ; cytogène et cytologie 07.01 Microbiologie-Virologie-Biologie
Mme BOUTIER		+ Pôle de Biologie - (laboratoire de microbiologie et de mycologie médicale / CHU) - Institut de Biologie / Faculté de Médecine	04.01 Microbiologie et mycologie (génomique)
Mme BURELLOTTI		+ Pôle d'urgence - Service de médecine interne et médecine nucléaire / CHU	01.01 Biophysique et médecine nucléaire
CARROT François		+ Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie humaine / Hôpital Régional	07.01 Immunologie
CHATELIERE		+ Pôle d'urgence - Centre d'urgence et d'interne adulte / CHU	01.01 Biologie et médecine nucléaire (génomique)
Mme COULLE-HARVEY		+ Pôle de Biologie - Centre de Référence / CHU	04.01 Immunologie
DEVAINE Anthony		+ Pôle de Biologie - (laboratoire de biologie structurale / médecine) / CHU	07.07 Cancérologie - biomédecine (génomique)
DEVAINE Thomas		+ Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie humaine / Hôpital Régional	07.01 Immunologie (génomique)
DEJOURS Stéphane		+ Pôle d'urgence - Urgence - médecine / CHU	04.01 Biophysique et médecine nucléaire
LEGRAND Stéphane		+ Pôle d'urgence - Hépatologie médicale / Centre d'urgence - Service de Médecine médicale / Hôpital de transplantation	04.01 Oncologie
Mme DEPTASIS-DEPTASIS		+ Pôle d'urgence médicale / Urgence cardiopulmonaire - Centre des Maladies Vasculaires / Hôpital Régional / CHU	01.04 Cardiologie vasculaire
Mme DEPTASIS-DEPTASIS		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Chimie et Biologie moléculaire / CHU	04.01 Biochimie et Biologie moléculaire
DEPTASIS Thomas		+ Pôle de Spécialité Neurologie - Ophtalmologie / CHU - Centre des Maladies Neurologiques et Ophtalmiques / CHU	01.01 Ophtalmologie et médecine
DELLIENNE Anne-Bénédicte		+ Pôle de Biologie humaine, pédiatrie et soins de réanimation - Centre de Diagnostic génétique / Hôpital Régional	07.01 Génétique (génomique)
DEVAZIO		+ Pôle de Biologie - (laboratoire de diagnostic génétique / Hôpital Régional)	07.04 Génétique (génomique humaine)
Mme DEVAZIO-DEVAZIO		+ Pôle de Biologie (GTC) - Service de neuropathologie / Institut de neuropathologie	04.01 Neurologie
DELEZENNE		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / CHU	04.01 Biochimie et Biologie moléculaire
Mme DELEZENNE		+ Pôle de Biologie humaine - Service de Physiologie et d'Exploration Fonctionnelle / CHU	04.01 Physiologie
Mme DELEZENNE-DELEZENNE		+ Pôle de Biologie - Service de Médecine Légale, Construction d'Hygiène publique (pathologie) - (laboratoire de Toxicologie / Faculté de Médecine) - Institut de médecine légale / Institut de Médecine	04.01 Médecine légale et santé publique
DELEZENNE		+ Pôle de Biologie (GTC) - Centre d'investigation clinique (CIC) - ACH / Institut de neuropathologie	04.01 Neurologie, médecine et biologie, addictions
DELEZENNE	04	+ Pôle de Biologie - Centre de Référence et de Référence moléculaire / CHU et Faculté	04.01 Microbiologie et mycologie (génomique)
DELEZENNE		+ Institut de médecine légale / Institut de médecine - Pôle de Pédiatrie et de Santé publique - Centre de Référence et d'Exploration	04.01 Physiologie (génomique)
DELEZENNE		+ Pôle de Biologie - (laboratoire de génétique / CHU et Faculté)	07.01 Biochimie-Virologie ; cytogène et cytologie 07.01 Microbiologie-Virologie-Biologie
DELEZENNE		+ Pôle de Biologie humaine - (laboratoire de physiologie et d'exploration fonctionnelle) / CHU	04.01 Physiologie (génomique)
DELEZENNE		+ Pôle de spécialité maladies hépatobiliaires / CHU - Service de Maladies Hépatobiliaires et d'Immunologie / CHU / CHU	04.01 Immunologie (génomique)
DELEZENNE		+ Pôle de Biologie - Institut de Biologie et de Santé publique / CHU / Faculté	04.01 Ophtalmologie-Virologie 04.01 Microbiologie-Virologie-Biologie (génomique)

NOM et adresse	CS*	Services hospitaliers existants / Localisation	Sous-section du Conseil National des Universités
GUERIN Eric		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Zoologie et de Biologie moléculaire / IUP	49.03 Microbiologie (partie classique)
GUZON Sylvain		+ Pôle de spécialités médicales / Biomatériaux / IUP - Service de Médecine Interne et d'Immunoallergologie / IUP	27.03 Immunologie (partie classique)
PROF. HANSEN-MARTELLE Claire		+ Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Radiologique et Imagerie Moléculaire / ICMC	43.03 Microscopie et méthodes nucléaires
HUEBEL Fabrice		+ Pôle d'Imagerie - Service de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire / IUP - Service de Biophysique et de Médecine Nucléaire / IUP	35.03 Microscopie et méthodes nucléaires
KOENIG Philippe		+ Pôle de Biologie - Département Spécialisé Fonctionnalité et Cancérisation / ICMC	47.04 Génétique (partie biologique)
MME MARTEL Véronique		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Zoologie et de Biologie moléculaire / IUP	44.03 Biochimie et biologie moléculaire
PROF. OUBASSER		- Institut d'Anatomie Humaine / Faculté de Médecine	42.03 Anatomie (partie classique)
PROF. RABIER-PAGNE Agnès		+ Pôle de médecine (Physique et de Radiobiologie) - Institut Interdisciplinaire de Recherches / Genesoma	41.03 Médecine Physique et Radioprotection
Mme LANTIER Valérie		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et de Biologie moléculaire / IUP	38.03 Biochimie et biologie moléculaire
PROF. LAURENTIN Marie		+ Pôle de Parasitologie / Faculté de Médecine + Pôle de Biologie - Service de Parasitologie / Hôpital de Médecine	42.04 Parasitologie, entomologie et cytogénétique (partie biologique)
LAVALLA Thomas		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Zoologie et de Biologie moléculaire / IUP	44.03 Microbiologie
LEONARDI Luc		+ Pôle de Génétique / Génétique - Service de Génétique Clinique / Hôpital de Médecine	54.03 Cytogénétique, Chromosomes / génétique médicale (partie / cytogénétique probatoire)
LEPOMBAUD Vincent		+ Pôle de Chirurgie maxillo-faciale, orthognathologie et maxillo-faciale - Service de Biomédecine / Hôpital Civil	50.03 Biomécanique
LEFRANTOIS David		+ Pôle de Biologie - Service de Parasitologie / Hôpital de Médecine	32.03 Anatomie et physiologie (partie biologique)
LUCI Jean-Christophe		+ Pôle de Chirurgie maxillo-faciale maxillo-faciale et orthognathique / Chirurgie maxillo-faciale, Orthodontologie et Biomédecine - Service de Chirurgie Maxillaire et Maxillo-faciale / Hôpital Civil	53.03 Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
MARTEL Laurent		+ Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Biologique / Hôpital de Neurologie et IUP	44.03 Microbiologie (partie médicale, développement)
Mme MATHIE Odile Ap. 1004 IUP	CS	+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic préimplantatoire / IUP / USC Schlegelien	54.03 Biologie et médecine de développement et de la reproduction (partie biologique)
MULLER Jean		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Génétique / Université / Musée / Hôpital Civil	47.04 Génétique (partie biologique)
Mme MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Service de Pathologie / Hôpital de Médecine	47.03 Anatomie et physiologie (partie biologique)
PROF. MATHIE Odile		+ Pôle de Santé publique et Santé au Travail - Service de Santé publique professionnelle et de Médecine du Travail / IUP	48.02 Médecine et Santé au Travail (partie médicale)
REMYENAC'h Power		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / IUP	34.03 Biochimie et biologie moléculaire
Mme MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / IUP / IUP	49.04 Parasitologie et mycologie
Mme MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Diagnostic génétique / IUP	47.04 Génétique (partie biologique)
PROF. MAUJ		+ Pôle d'Imagerie - Unité de Biomédecine Interventionnelle / Hôpital de Cardiologie	45.02 Radiologie et Imagerie médicale (partie classique)
Mme MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Service de Génétique / Hôpital de Médecine	47.04 Génétique (partie classique)
MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Institut Interdisciplinaire de Recherches / IUP / IUP et Santé	49.03 Cytogénétique, Chromosomes / génétique médicale (partie biologique)
Mme MATHIE Odile / IUP / IUP		+ Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Biologique / Musée / Hôpital Civil	47.03 Immunologie (partie biologique)
PROF. MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / IUP - Service de Chirurgie / ICMC	49.03 Biochimie et biologie moléculaire
PROF. MATHIE Odile		+ Pôle de Pathologie Biologique - Service de Physiologie et Respiration Fonctionnelles / IUP	44.02 Physiologie (partie classique)
MATHIE Odile / IUP / IUP		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Biochimie et Biologie moléculaire / IUP	38.03 Biochimie et biologie moléculaire (partie biologique)
Mme MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire d'Immunologie Biologique / Musée / Hôpital Civil	47.03 Immunologie / médecine (partie médicale - immunologie)
Mme MATHIE Odile / IUP		+ Pôle de Biologie - Service de Neurologie - Service de Pathologie du Système / IUP	49.03 Neurologie
PROF. MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Parasitologie et de Mycologie médicale / IUP / IUP - Institut de Parasitologie / Musée de Médecine	49.02 Parasitologie et mycologie (partie biologique)
PROF. MATHIE Odile		+ Pôle de Biologie - Laboratoire de Génétique / Université / Musée / Hôpital Civil	47.04 Génétique

NOM et Prénoms	ES*	Services Hospitaliers ou Institut / Localisation	Spécialisation au Conseil National des Universités
Mme ANNE FAVIERE		- Pôle de Biologie - Institut Hubert-curie de Biologie / PFR HUS et FGVH	43.01. Bactériologie - virologie (biologique)
Mme SOLE MORGANT		- Pôle de Biologie - Laboratoire de physiologie / Institut de Biologie	44.01. Hépatologie - hépatologie, hépatologie biochimie, Bactériologie - virologie
Mme SOBEY Chrysselle		- Pôle de Médecine interne, Rhumatologie, Neurologie, Endocrinologie, Gynécologie (MIGAC) - service de rhumatologie / HEPITAL de Hautepierre	45.01. Rhumatologie
Mme MALAVALLE-REBOUL Emeline		- Pôle de Biologie - Institut Galien et de Biochimie / PFR HUS et FGVH	46.01. Cytopathologie - virologie (biologique)
Mme GARY		- Pôle de Pathologie Clinique - Service de cytologie et exploration morphologiques / HEC	46.02. Physiologie (gynécologie)
Mme COLIN Isabelle		- Pôle médecine - hépatologie de Hautepierre - service de chirurgie hépatobiliaire / HEPITAL de Hautepierre	44.02. Hépatologie interne
Mme DE MARIE		- Pôle de Biologie - Service de Biologie de la Fermentation / ONCO-3H Hautepierre	44.03. hépatologie et médecine du développement et de la reproduction (biologie biologique)
Mme LAURENTE		- Pôle de Biologie - Laboratoire d'immunologie biologique - HEPITAL de Hautepierre	47.01. Hématologie, transfusion (biologie immunologie biologique)
Mme ANNE-SOPHIE KAMALE		- Pôle de Biologie - Laboratoire de virologie / HEPITAL de Hautepierre	45.01. Immunologie - hépatologie, hépatologie biochimie, Bactériologie - virologie biologique
Mme ANNE-MARIE MOYE		- Pôle de Biologie - Laboratoire de physiologie et de physiologie moléculaire / PFR HUS et FGVH	44.02. Hépatologie et microbiologie (biologie biologique)
Mme ZALDZIC N. ou ep. VILICANT OUI		- Pôle Médecine Chirurgicale de Hautepierre - Service de médecine / HEPITAL de Hautepierre	43.01. Pédiatrie
Mme ANTOINE		- Pôle de Pathologie Clinique - Service de mycologie et d'exploration fonctionnelle / HEC	44.02. Physiologie (gynécologie)

B2 – PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS (monoappartenant)

M. BERNY Christian PHOEN	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
--------------------------	---	---

B3 – MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS (monoappartenant)

Mme DUPONNÉ Dana	CEBC-UMR 7057 - Epithé HEC / Faculté de Médecine	69. Neurosciences
M. BELLANGER Jean-Philippe	CEBC-UMR 7057 - Epithé HEC / Faculté de Médecine	69. Neurosciences
M. BERTHÉ BIL	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
M. LAMRICHOU M	CEBC-UMR 7057 - Epithé HEC / Faculté de Médecine	69. Neurosciences
Mme MICALLEF GENE	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
Mme LAMRICHOU MARGAITE	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	70. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
Mme TACHON MARIE	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
M. VIGORISSE FLORENCE	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques
M. ZHANG JIECH	Laboratoire d'apoptose des Sciences de la Vie et de la Santé (LVS) Institut d'Anatomie Pathologique	72. Epistémologie – Histoire des sciences et des Techniques

C - ENSEIGNANTS ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

C1 - PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Pr. Ass. DANFAS Clève
Pr. Ass. DEFFELZEMER
Pr. Ass. DEFFELZEMER Anne
Pr. Ass. DEFFELZEMER
Pr. Ass. DEFFELZEMER
Pr. Ass. DEFFELZEMER

C2 - MAÎTRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE - TITULAIRE

DR CHENDE J. Anne
DR DEFFELZEMER

C3 - MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

DR BELLEFLORE Clève
DR DEFFELZEMER Anne
DR DEFFELZEMER Anne
DR DEFFELZEMER Anne
DR DEFFELZEMER Anne

E - PRATICIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES

DR ANNE DEFFELZEMER	- Médecin chirurgien généraliste - Service de Médecine Générale (service de consultation et de surveillance ambulatoire) / CHU
DR DANFAS Clève	- Médecin généraliste / Médecin chirurgien généraliste - Service de Médecine Générale / CHU
Mme DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin Pharmacie - Pharmacologie - Service de Pharmacologie / Hôpital (CHU)
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin Généraliste - Service de Médecine Générale (service de consultation et de surveillance ambulatoire) / Hôpital (CHU)
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin spécialiste Médecine - Gynécologie - Pédiatrie (CHU) - Service de Médecine Générale (service de consultation et de surveillance ambulatoire) / Hôpital (CHU)
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin de Santé Publique et Santé au Travail - Service de Santé Publique - CHU / Hôpital (CHU)
Mme DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin Spécialité Médecine - Ophtalmologie - Ophtalmologie (CHU) - CHU
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin de Gynécologie et Obstétrique - Service de Gynécologie Obstétrique / CHU
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin spécialiste Médecine - Cardiologie (CHU) - Centre de Diagnostic - Centre de soins de l'infirmerie par le CHU / Hôpital (CHU)
Mme DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin Généraliste - Service de Chirurgie Digestive / Hôpital de l'Université
Mme DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin de Gynécologie et Obstétrique - Centre Clinico-Épidémiologique / CHU
DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin généraliste / Médecin - Service des Urgences Médicales - CHU (service de consultation et de surveillance ambulatoire) / Hôpital de l'Université
Mme DR DEFFELZEMER Anne	- Médecin généraliste - Médecin - Médecin généraliste et pédiatrie - CHU

F1 - PROFESSEURS ÉMÉRITES

1. **de droit en vie (nombre de professeurs)**
 DUMAS Pierre-Dominique (Adaptage moléculaire)
 WAZAR Jean-Louis (Biologie moléculaire et cellulaire)
2. **pour trois ans (31 septembre 2020 ou 31 août 2021)**
 BELLEC Jean-François (Service de l'écologie)
 CHESNARD Daniel (Matière molle et biophysique)
 BARRON Jean-Marie (Physiologie)
 WACHSMUTH David (Physique Géologique)
 ROYFF Jean-François (Énergie, environnement et santé)
 KOSTEROWSKI Joanna (Biologie moléculaire - Chimie des protéines)
 MULLER André (Centre Faskhulla et le territoire de la Guyane)
 WOLSKEL Ludvig (Ecologie)
3. **pour trois ans (31 septembre 2021 ou 31 août 2022)**
 BARRAL Anne (Cosmochimie, archéologie)
 BOURDIER Pierre (Géochimie et géologie Biominéralisation)
 BERTHOUD Pascal (Histologie)
 STREUMER Pascal (Chimie de l'eau)
4. **pour trois ans (31 septembre 2022 ou 31 août 2023)**
 HERR GUDRI Stathis (Géomorphologie)

F2 - PROFESSEUR des UNIVERSITÉS ASSOCIÉ (mi-temps)

INSTITUT DE CHIMIE (ICM)

F3 - PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ

Dr JIMENEZ Domingo	(2019-2020)
Dr KLOTZ Pascal	(2019-2020)
Dr LANGE Marie-Cl.	(2019-2020)
Dr SAHLE Antoine	(2019-2020)
Dr MARTEL Antoine	(2019-2020)
Dr FRES Antoine	(2019-2020)
Dr ROUSSEAU Catherine	(2019-2020)

Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

Remerciements

Merci Pr Maria Gonzalez pour votre accueil bienveillant dans le monde de la médecine du travail. Vous êtes un puits de savoir et un pilier de la spécialité, c'est un honneur que vous présidiez ce jury. Merci pour votre enseignement et votre implication dans notre formation.

Merci Pr Bonah et Pr Sauleau de me faire l'honneur d'être membre du jury. Soyez assurés de mon profond respect.

Merci à mes directrices de thèse Dr Azra Hamzic et Dr Stéphanie Kleinlogel. Après m'avoir épaulé pour mon travail de mémoire, vous avez poursuivi durant ce travail de thèse. Merci pour votre suivi, vos encouragements, votre relecture malgré un nombre de pages toujours croissant. Enfin on arrive au bout :).

Merci Laurent Mercatoris et Dr Marc André Goltzene pour vos conseils et votre aide dans ce travail.

À mes maîtres de stage en services de médecine et santé au travail: Dr Stéphanie Scarfone, Dr Jean Michel Wendling, Dr Anne Catherine Ruff. Merci de m'avoir fait découvrir chacun à sa façon le vaste monde de la médecine du travail.

Merci à toutes les personnes qui m'ont accompagné et fait grandir professionnellement tout au long de mon internat, en particulier les équipes hospitalières du service de pathologie professionnelle, de la MTPH, de l'hôpital de jour de psychiatrie ainsi que les équipes des services de santé au travail de l'université, de l'ACST et de l'AST67.

Merci à mes co-internes pour tous nos échanges et ces bons moments passés ensemble tout au long de l'internat.

Merci Maman, merci Papa pour votre éducation bienveillante, votre sens de la famille, votre amour, votre soutien qui m'ont grandement amené à être ce que je suis aujourd'hui.

Merci S, merci A. pour tous ces moments en famille partagés depuis plus de 30 ans.

Merci à mes neveux pour tous les moments joyeux passés et à venir.

Merci à mes grands-parents qui m'ont chacun transmis beaucoup.

Merci à ma belle famille pour leur accueil et leur soutien.

Merci à tous mes amis pour les moments partagés, depuis des années. Après être entré en hibernation depuis quelques mois, je vais pouvoir sortir de ma taverne pour mieux vous retrouver.

Merci A. d'être présente dans ma vie depuis plus de 10 ans. Merci d'être là au quotidien, dans les jours ensoleillés et les jours de pluie. Merci pour ta patience et ton soutien tout au long de ces années médicales. Tu mérites toi aussi un doctorat!

Plan

Liste des figures et tableaux	17
Abréviations	19
I Introduction	24
I.1 Généralités sur les déchets produits en France	25
I.1.1 Définitions	25
I.1.2 Production et provenance des déchets en France	26
I.1.3 Filières de prise en charge des déchets	28
I.1.4 Composition et nature des OMR	32
I.2 Description d'une UIOM	33
I.2.1 Hall de déchargement	35
I.2.2 Four	36
I.2.3 Chaudière	36
I.2.4 Installation de traitement des fumées	37
I.2.5 Extracteur de mâchefers :	39
I.2.6 Plateforme de traitement des mâchefers :	39
I.2.7 Composition des mâchefers et des REFIOM	39
I.2.8 Principales substances d'intérêt	41
I.3 Législation	44
I.3.1 Risque chimique	44
I.3.2 Employeur	45
I.3.3 Service de santé au travail	47
I.3.4 Spécificités liées au secteur d'activité	48
I.4 Toxicité	49
I.4.1 Notion de toxicologie	49
I.4.2 Toxicité par substance	51
I.5 Description de l'entreprise	57
I.5.1 Présentation de l'entreprise	57
I.5.2 Descriptions des postes	58
I.5.2.1 Service d'exploitation	58
I.5.2.3 Équipe de maintenance	60
I.5.3 Prévention	60
I.5.3.1 Outils de prévention collective	60
I.5.3.2 Équipements de Protection Individuels	61
I.5.3.3 Formations	62
I.5.4 Préoccupations	63
II Genèse de la thèse, hypothèse de travail et objectifs	63
II.1 Analyse de la demande du service de santé au travail	63
II.2 Hypothèse de travail	64
II.3 Objectifs	64
III Méthodologie	64
	14

III.1 Revue de littérature	64
III.2 Recueil et analyse des biométries locales	66
IV Revue de littérature	67
IV.1 Résumé des travaux existants	67
IV.2 Morbidité/Mortalité	71
IV.3 Mesures atmosphériques	74
IV.3.1 Synthèse	74
IV.3.2 État des lieux récent des expositions en France	79
IV.4 Marqueurs biométries et biologiques	82
IV.4.1 Dioxines	83
IV.4.2 Métaux	85
IV.4.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques	87
IV.4.4 Autres	88
IV.4.5 Marqueurs d'effets biologiques	88
V Campagnes de biométries locales	90
V.1 Plombémie	90
V.2 Cadmium urinaire	95
V.3 1-Hydroxypyrene urinaire	97
VI Discussion	99
VI.1 Synthèse des résultats	99
VI.1.1 Revue de littérature	99
VI.1.2 Biométries locales	101
VI.1.3 Récapitulatif	103
VI.1.4 Risques pour les salariés de l'UIOM étudiée	106
VI.2 Points forts du travail	112
VI.3 Limites du travail	113
VI.3.1 Difficultés d'évaluation	113
VI.3.1.1 Nature des expositions	113
VI.3.1.2 Niveau d'exposition et d'imprégnation	113
VI.3.2 Revue de littérature	114
VI.3.3 Biométries locales	116
VI.3.3 Absence de données cliniques locales	116
VI.4 Propositions et perspectives	117
VI.4.1 Suivi des salariés	117
VI.4.1.1 Fréquence du suivi	117
VI.4.1.2 Consultations	118
VI.4.1.3 Examens complémentaires	119
VI.4.1.3.1 Biologie	119
VI.4.1.3.2 Autres examens complémentaires	124
VI.4.1.3.3 Suivi post exposition	126
VI.4.1.3.4 Synthèse	128
VI.4.2 Autres perspectives	129

Conclusion	134
Annexes	138
Annexe n° 1: Résumé des études quant à la morbidité et à la mortalité des salariés d'UIOM	138
Annexe n° 2: Résumé des études réalisant une estimation des risques sanitaires pour les salariés d'UIOM	144
Annexe n° 3 : Résumé des études mentionnant la pratique de mesures atmosphériques au sein d'UIOM	146
Annexe n° 4 : Niveaux moyens d'exposition atmosphérique dans une UIOM en phase d'arrêt technique	159
Annexe n° 5 : Résumé des études mentionnant la réalisation de dosages biologiques chez des salariés d'UIOM	162
Annexe n° 6 : Présentation des valeurs biologiques relevées dans différentes études pour les salariés d'UIOM (plombémie, cadmium[u] , 1-OHP[u])	190
Annexe n° 7 : Effets sanitaires du plomb	192
Annexe n° 8 : Documents de référence mentionnant les impacts sanitaires potentiels pour les salariés d'UIOM	193
Bibliographie	196
Résumé	212

Liste des figures et tableaux

Les figures n° 1, 2, 3, 4, 5, 6 ont été reproduites avec l'aimable autorisation de l'ADEME. Les figures n° 7, 11 et l'Annexe n° 4 ont été reproduites avec l'aimable autorisation de l'INRS.

Figures:

Figure n° 1 : Représentation simplifiée des différents types de déchets au sein des déchets municipaux

Figure n° 2 : Production de déchets en France en 2017

Figure n° 3 : Évolution de la production de déchets en France de 2004 à 2016

Figure n° 4 : Évolution des DMA collectés par flux de collecte de 2005 à 2017

Figure n° 5 : Évolution des tonnages traités au sein des ITOM, hors refus de traitement, selon la nature de traitement

Figure n° 6 : Évolution de la composition des OMR en kg/hab./an en 1993, 2007 et 2017

Figure n° 7 : Schéma simplifié du mode de fonctionnement d'une UIOM

Figure n° 8 : Schéma simplifié de l'installation de traitement des fumées de l'UIOM étudiée

Figure n° 9 : Métabolisme des substances chimiques dans l'organisme

Figure n° 10 : Niveaux moyens d'exposition atmosphériques mesurés lors de différentes campagnes de prélèvement dans différentes UIOM en France

Figure n° 11 : Comparaison des plombémies des salariés ($\mu\text{g/L}$) sur les deux périodes 2013-2015 et 2019-2022 (diagramme en violon)

Figure n° 12 : Évolution dans le temps des plombémies ($\mu\text{g/L}$) de certains salariés pour lesquels plusieurs valeurs de plombémies sont disponibles

Figure n° 13 : Niveau de plombémie suivant l'âge des salariés (période 2013-2015 et 2019-2022)

Figure n° 14 : Niveau de plombémie suivant l'ancienneté des salariés (période 2013-2015 et 2019-2022)

Figure n° 15 : Nombre d'agents chimiques par nature d'atteinte à la santé

Tableaux:

Tableau n° 1 : Ratio d'OMR émises par kg/ habitant/ an, en fonction de la catégorie de déchets, et principaux éléments retrouvés

Tableau n° 2 : Teneur moyenne en métaux des OMR lors des campagnes de caractérisation de 1993 et 2007

Tableau n° 3 : Composition chimique des mâchefers et des REFIOM

Principales expositions identifiées dans le secteur de l'incinération des ordures ménagères.

Tableau n° 4 : Éléments relatifs à la toxicité de certaines substances identifiées lors du travail de mémoire

Tableau n° 5 : Revues de littérature déjà réalisée en lien avec la biosurveillance des travailleurs d'incinérateurs

Tableau n° 6 : Revues de littérature déjà réalisée en lien avec l'impact sanitaire de l'incinération de déchets (riverains et salariés)

Tableau n° 7 : Niveau de plombémie des salariés

Tableau n° 8 : Niveau de cadmiurie des salariés

Tableau n° 9 : Niveau de 1-OHP urinaire des salariés (exprimé en µg/g de créatinine)

Tableau n° 10 : Principales substances identifiées lors de ce travail (mesures atmosphériques et biométries)

Tableau n° 11 : Substances mentionnées dans ce travail et pour lesquelles une atteinte par organe cible est mentionnée par le CIRC

Tableau n° 12 : Synthèse des propositions de réalisation d'examen complémentaires

Abréviations

1-OHP : 1-hydroxypyrene

2-NP : 2-naphtol

3-OHBaP : 3-hydroxybenzo(a)pyrene

8-OHdG : 8-hydroxydéoxyguanosine

ACD : Agent Chimique Dangereux

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFB1 : Aflatoxine B1

Al : Aluminium

ALAT : Alanine aminotransférase

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

APR : Appareil de Protection Respiratoire

As : Arsenic

ASAT : Aspartate aminotransférase

β2M : Bêta-2 microglobuline

B(a)A : Benzo(a)anthracène

B(a)P : Benzo(a)pyrene

B(b)F : Benzo(b)fluoranthène

B(ghi)P : Benzo(g,h,i)pérylène

B(k)F : Benzo(k)fluoranthène

Be : Béryllium

BP : Bisphénol

BPCO : Bronchopneumopathie Chronique Obstructive

Ca : Calcium

Cd : Cadmium

CHRY : Chrysène

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CLP : Classification, Labelling, Packaging (règlement européen)

CMR : Cancérogènes, Mutagènes ou toxiques pour la Reproduction

CNAM : Conservatoire National des Arts et Métiers

Co : Cobalt

CO : Monoxyde de Carbone

Con A : Concanavaline A
COV : Composés Organiques Volatils
CPK : Créatine Phospho Kinase
Cr : Chrome
Cr II et III : Chrome bi et trivalent
Cr VI : Chrome hexavalent
CRRMP : Comité Régional de Reconnaissance des Maladies Professionnelles
CRP : Protéine C réactive
Cu : Cuivre
CVF : Capacité Vitale Forcée
DAE : Déchets d'Activités Économiques
DASRI : Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux
DMA : Déchets Ménagers et Assimilés
DREAL : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DUERP : Document Unique d'Evaluation des Risques Professionnels
ECHA : Agence européenne des produits chimiques
EFR : Exploration Fonctionnelle Respiratoire
EOP : Esters organophosphorés
EPC : Équipement de Protection Collectif
EPI : Équipement de Protection Individuel
Fe : Fer
FFP : Filtering Face Piece (Pièce faciale filtrante)
GEH : Groupe d'Exposition Homogène
GGT : Gamma-glutamyltranspeptidase
HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HbA1C : Hémoglobine glyquée
Hg : Mercure
HTA : Hypertension Artérielle
IAE : Indice d'Exposition à effets Additionnels
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
Ig : Immunoglobuline
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
Ir : Iridium
ISD : Installations de Stockage de Déchets

ITOM : Installations de Traitements des Ordures Ménagères
LDH : Lactate déshydrogénase
MDA : Malondialdéhyde
Mg : Magnésium
MIOM : Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères
Mn : Manganèse
NFS : Numération Formule Sanguine
Ni : Nickel
NIOSH : National Institute for Occupational Safety & Health
NK : Natural Killer
NME : Niveau Moyen d'Exposition
NOAEL : Non Observed Adverse Effect Level
OEHHA : California Office of Environmental Health Hazard Assessment
OH-HAP : HAP mono-hydroxylés
OM : Ordures Ménagères
OMA : Ordures Ménagères et Assimilées
OMR : Ordures Ménagères Résiduelles
OR : Odds Ratio
ORL : Oto-Rhino-Laryngée
OTM : Olive Tail Moment
P : Phosphore
PAL : Phosphatases alcalines
PAE : Phtalate
Pb : Plomb
PBB : Poly-Bromo-Biphényles
PBDE : Poly-Bromo-Di-Phényl-Ethers
PCB : Poly-Chloro-Biphényles
PCDD : Poly-Chloro-Dibenzo-p-Dioxines
PCDF : Poly-Chloro-Dibenzo-Furanes (Furanes)
Pd : Palladium
PHA : Phytohémagglutinine
POP : Polluants organiques persistants
PPZ : ProtoPorphyrine-Zinc
PSES : Poussières dites Sans Effet Spécifique

Pt : Platine

PTM : Plateforme de maturation et de Traitement des Mâchefers

RBP : Retinol Binding Protein

RECORD : RÉseau Coopératif de Recherche sur les Déchets et l'environnement

REFIOM : Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération d'Ordures Ménagères

RG : Régime Général

Rh : Rhodium

Sb : Antimoine

SCR : Selective Catalytic Reduction (Réduction Catalytique Sélective)

Se : **Sélénium**

SFSP : Société Française de Santé Publique

SFST : Société Française de Santé au Travail

SIR : Suivi Individuel Renforcé

SMR : Rapport Standardisé de Mortalité

TEF : Toxic Equivalent Factor

TEQ : Toxic Equivalent Quantity

TG : Triglycéride

TI : Thallium

TRK : Technische Richtkonzentrationen (Concentration technique indicative)

TSH : Thyroestimuline

UIDD : Usine d'Incinération de Déchets Dangereux

UIOM : Usine d'Incinération des Ordures Ménagères

V : Vanadium

VBI : Valeur Biologique d'Interprétation

VEMS : Volume Expiratoire Maximal Seconde

VLA : Valeur Limite Admise

VLB : Valeur Limite Biologique

VLC : Valeur Limite Contraignante

VLCT : Valeur Limite à Court Terme

VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

VLI : Valeur Limite Indicative

VRE : Valeur de Référence d'Exposition

W : Tungstène

Zn : Zinc

I Introduction

Si les déchets étaient autrefois compostables et éliminés progressivement dans la nature, le développement de grands centres urbains, l'arrivée de nouveaux types de déchets non dégradables (métaux, plastiques) et l'augmentation du nombre de déchets produits par habitant ont amené à la mise en place de systèmes centralisés de traitement des déchets. Les premières Usines d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) sont apparues en France au XIXe siècle. L'incinération offre de nombreux avantages tels que la réduction significative du volume de déchets et la possibilité de leur valorisation énergétique. Les installations ont connu des séries d'évolution technologiques pour limiter leurs niveaux d'émissions atmosphériques qui ont été drastiquement réduits depuis les années 1990. Des niveaux d'exposition significatifs à certaines substances peuvent cependant toujours être rencontrés à l'intérieur des unités, variables suivant les zones et les tâches réalisées. Actuellement, environ 3500 salariés travaillent au sein des UIOM en France.

Un travail de mémoire préliminaire a permis de réaliser une première approche des risques chimiques pour certains salariés d'une UIOM considérée. Nous avons souhaité approfondir ce sujet par un travail de thèse.

Ce travail présentera tout d'abord le contexte et la problématique du secteur des déchets et de l'incinération des ordures ménagères en France. Une description de l'entreprise étudiée sera réalisée. Les résultats d'une revue de littérature concernant les UIOM seront ensuite présentés, déclinée en trois points: morbidité et mortalité des salariés; mesures atmosphériques au sein des installations; marqueurs biologiques et biométriologiques des salariés. Les résultats de biométriologies effectuées sur certains salariés de l'UIOM étudiée. L'ensemble de ces résultats sera enfin synthétisé et analysé.

I.1 Généralités sur les déchets produits en France

I.1.1 Définitions

Un déchet se définit comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meublé, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » (1).

Deux grandes catégories de déchets peuvent être distinguées (2) :

- **Déchets Ménagers**, produits initialement par un ménage ;
- **Déchets d'Activités Économiques (DAE)**, non produits initialement par un ménage.

Parmi les DAE, les **Déchets Assimilés** peuvent être collectés et traités comme les déchets ménagers, « eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites » (3). Ils correspondent en général à des déchets de petites entreprises, dont les déchets sont pris en charge par le service public de collecte,

Les **Déchets Ménagers et Assimilés (DMA)** proviennent à 80% des ménages (déchets ménagers) et à 20% des entreprises (déchets assimilés).

Au sein des DMA, on distingue (4) les **Ordures Ménagères et Assimilés (OMA)** qui correspondent aux déchets de « routine », collectés en porte-à-porte ou en apport volontaire, et les **déchets occasionnels** (déchets encombrants, déchets verts, déblais, gravats...).

Les OMA peuvent eux même être décomposés entre les **Ordures Ménagères Résiduelles (OMR)**, désignant les déchets ménagers et les déchets assimilés collectés en mélange (communément les poubelles grises), et les **déchets collectés sélectivement** (verre, papier...).

Les **déchets municipaux** correspondent aux déchets pris en charge par les collectivités locales. Ils sont constitués des DMA, auxquels s'ajoutent les déchets des services municipaux (déchets d'espaces verts, voiries, marchés, dépôts sauvages...).



Figure n° 1 : Représentation simplifiée des différents types de déchets au sein des déchets municipaux

Source : ADEME - Déchets chiffres-clés édition 2020 (6)

I.1.2 Production et provenance des déchets en France

Les données présentées proviennent principalement du dernier rapport (5) de L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), publié en 2020, concernant les chiffres clés des déchets en France. En 2017, 326 millions de tonnes (Mt) de déchets ont été produits en France, selon la répartition indiquée sur la Figure n° 2.

Si l'on s'intéresse aux données présentées de 2004 à 2016 (Figure n° 3), après une hausse constante de la production des déchets totaux jusqu'en 2010 (principalement liée aux déchets de la construction), la tendance semble s'inverser depuis.



Figure n° 2 : Production de déchets en France en 2017

Source : ADEME - Déchets chiffres-clés édition 2020 (6)

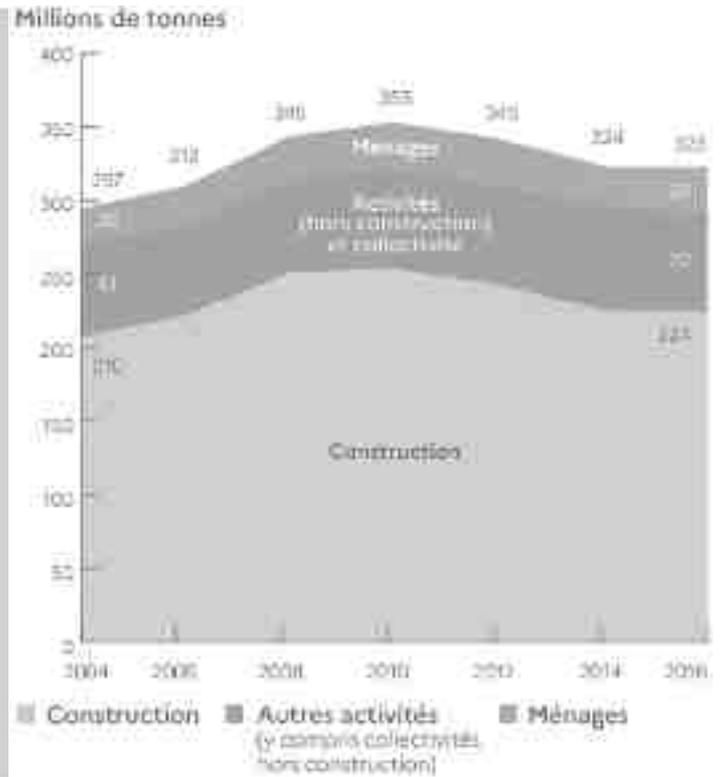


Figure n° 3 : Évolution de la production de déchets en France de 2004 à 2016

Source : ADEME - Déchets chiffres-clés édition 2020 (5)

Concernant spécifiquement les DMA (Figure n° 4), sur la période de 2005 à 2016, leur production est globalement en légère hausse. Le mode de collecte évolue : la filière OMR (collecte de poubelles grises) reste la principale en 2016, mais elle tend à diminuer depuis 2005 (-17%). Il existe par contre une augmentation importante du nombre de déchets collectés en déchèteries (+55%) et par collectes séparées telles que celles pour le papier, le verre et les biodéchets (+23%).

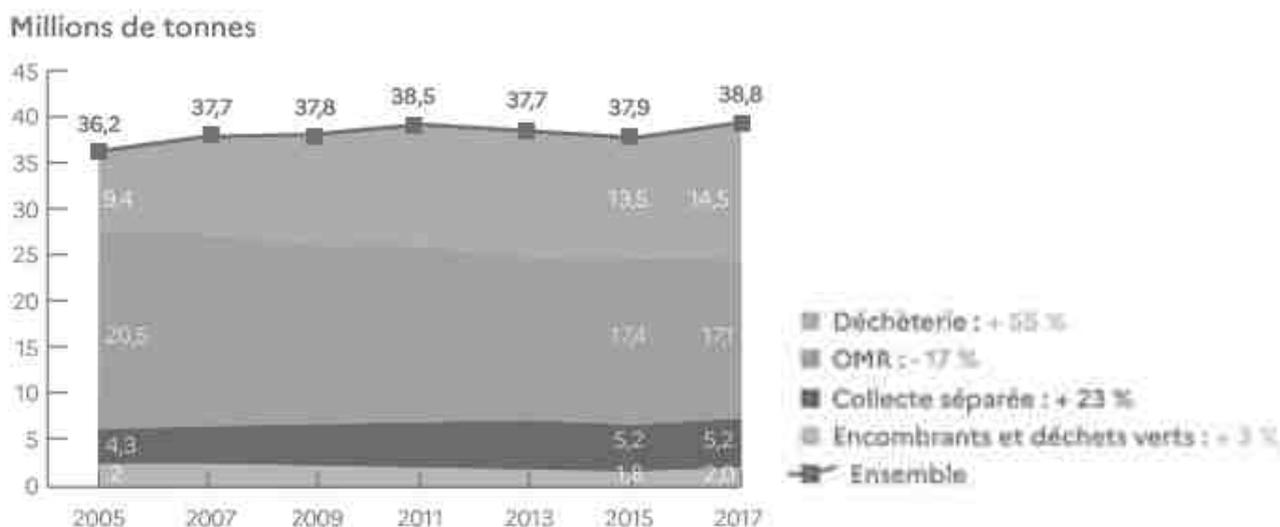


Figure n° 4 : Évolution des DMA collectés par flux de collecte de 2005 à 2017

Source : ADEME Déchets chiffres-clés édition 2020 (6)

Alors que la **quantité d'ordures ménagères rapportée par habitant** (hors déchets assimilés), était en hausse des années 1960 (environ 180 kg/habitant/an) au début des années 2000 (environ 350 kg/habitant/an), elle est depuis en diminution. Elle est de **286 kg/habitant** en 2017.

1.1.3 Filières de prise en charge des déchets

En France, quatre filières principales de prise en charge des déchets existent : stockage, valorisation organique, recyclage et incinération. Le nombre d'emplois associés est d'environ 110 000 personnes (5).

- **Le stockage** de déchets en décharge a longtemps été le principal moyen de traitement des déchets. Aujourd'hui, il est réservé aux déchets ultimes, au sein des Installations de Stockage de Déchets (ISD). Ces dernières sont divisées en 3 catégories selon le type de déchets pris en charge (dangereux, non dangereux, inerte). Il s'agit d'un mode de traitement des déchets simple et économique. Cependant, il nécessite des volumes conséquents et ne permet aucune valorisation des matériaux stockés. Il peut également présenter un risque sanitaire à moyen ou long terme en cas d'infiltration de produits polluants dans les nappes phréatiques et cours d'eau avoisinants.

- La **valorisation organique** permet la prise en charge des déchets biodégradables (déchets alimentaires, verts, agricoles...), selon deux modes de traitement : compostage et méthanisation.
 - Le **compostage** est un procédé qui permet la transformation aérobie de déchets organiques en compost. En dehors de la valorisation organique, il s'agit d'une technique relativement simple à mettre en œuvre. Les inconvénients rencontrés sont notamment la présence d'odeurs et l'émission de micro-organismes (endotoxines) pouvant présenter un risque sanitaire.
 - La **méthanisation** est un procédé qui permet la transformation anaérobie de déchets organiques en biogaz et digestat par certaines bactéries. Il permet une valorisation organique et énergétique, avec des émissions limitées d'odeurs. Certains risques biologiques (exposition à des micro-organismes), chimiques (ammoniac, CO₂) ou explosifs peuvent néanmoins être associés.
- Le **recyclage** permet la réutilisation de matières issues des déchets, que ce soit en boucle fermée (réutilisation pour la réalisation d'un même produit, comme les bouteilles de verre) ou en boucle ouverte (utilisation pour la création d'un autre produit, comme les bouteilles plastiques converties en polyester). La filière comprend la collecte des poubelles recyclables (papiers, plastiques), et les collectes spécifiques (verres, vêtements). Elle inclut également le dispositif de Responsabilité Élargie des Producteurs (REP), qui concerne certains produits (piles, composants électroniques...) qui doivent être récupérés par les fabricants et distributeurs. Le recyclage présente l'avantage de diminuer la quantité de déchets, avec la récupération et la réutilisation des matériaux, et de limiter les besoins en matières premières. Il n'est toutefois pas toujours économiquement rentable, le tri et la séparation des matériaux n'est pas toujours possible, et certains matériaux ne peuvent actuellement pas être recyclés.
- L'**incinération** est une technique permettant l'élimination des déchets en les brûlant à haute température en présence d'air, entraînant l'oxydation complète de la fraction organique des

déchets. L'incinération des déchets se fait actuellement majoritairement au sein d'unités permettant la production d'énergie thermique ou électrique. Suivant la nature des déchets, ils seront incinérés dans des **Usines d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM)** ou en Usine d'Incinération de Déchets Dangereux (UIDD).

Outre la production d'énergie thermique ou électrique et la rapidité du processus, l'incinération présente l'avantage d'une réduction du poids des déchets (d'environ 75%), et la possibilité de réutilisation d'une partie des résidus (mâchefers comme sous-couche routière, métaux). De multiples composants toxiques (dioxine, métaux lourds...) sont cependant émis lors de la combustion. Si ces polluants ont pu par le passé se retrouver à des concentrations notables dans les fumées émises, des normes strictes encadrent actuellement leur émission. Il persiste une acceptabilité faible de ce type d'installation par les populations vivant à proximité avec un syndrome NIMBY (« Not In My Back Yard », pouvant être traduit en français par « Pas près de chez moi »), du fait d'une crainte d'effets sanitaires nocifs. L'incinération produit aussi des déchets ultimes qui ne peuvent être exploités et doivent être pris en charge au sein des ISD.

On retrouve ces 4 filières (centres de compostage, centre de tri, centres de stockage et UIOM) au sein des **Installations de Traitements des Ordures Ménagères (ITOM)**. Ces dernières prennent en charge les DMA, mais également les déchets collectés par les services municipaux ainsi qu'une partie des déchets non dangereux des entreprises.

Depuis les années 2000, le nombre d'UIOM est resté stable (environ 120 unités), tandis que celui de centres de stockage est en baisse progressive (d'environ 400 à 200 unités). Il existe en parallèle une hausse importante du nombre de centres de tri et de compostage, qui sont respectivement passés sur cette période d'environ 200 à 400 unités, et d'environ 200 à 700 unités.

En 2016, les ITOM ont pris en charge 48 Mt de déchets (dont 38 Mt de DMA). Le stockage reste encore le mode de traitement majoritaire (principalement des DAE), mais les quantités

de déchets stockés sont en baisse depuis les années 2000. À l'inverse, le nombre de déchets compostés, triés ou méthanisés est en hausse constante.

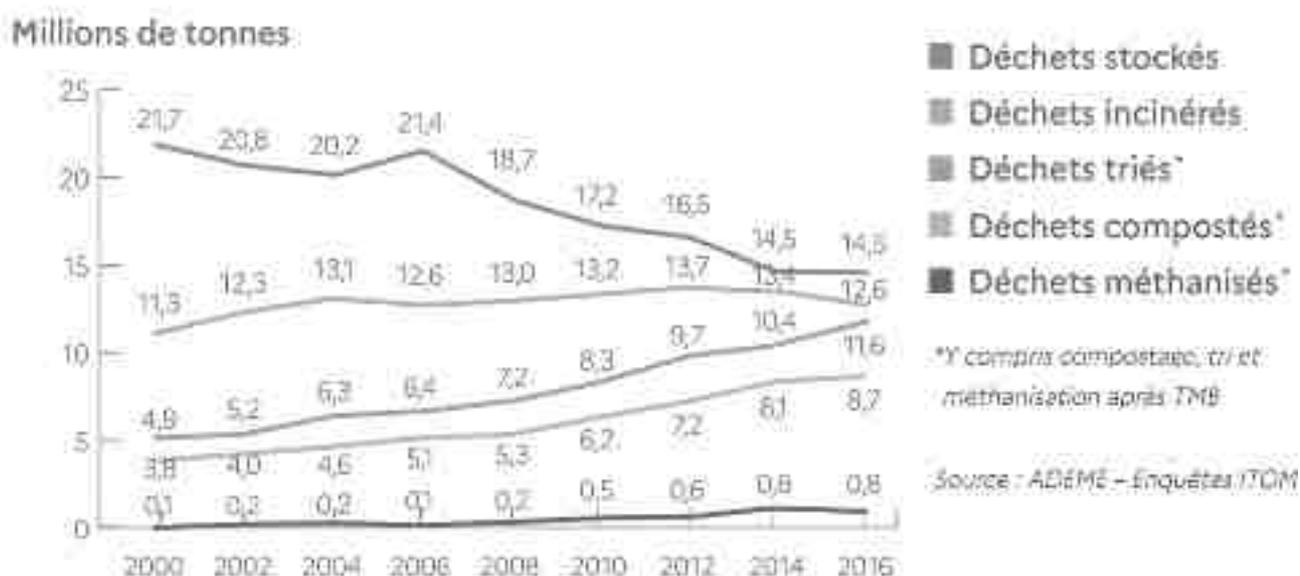


Figure n° 5 : Évolution des tonnages traités au sein des ITOM, hors refus de traitement, selon la nature du traitement

Source : ADEME - Déchets chiffres-clés édition 2020 (5) TMB= Tri Mécano Biologique

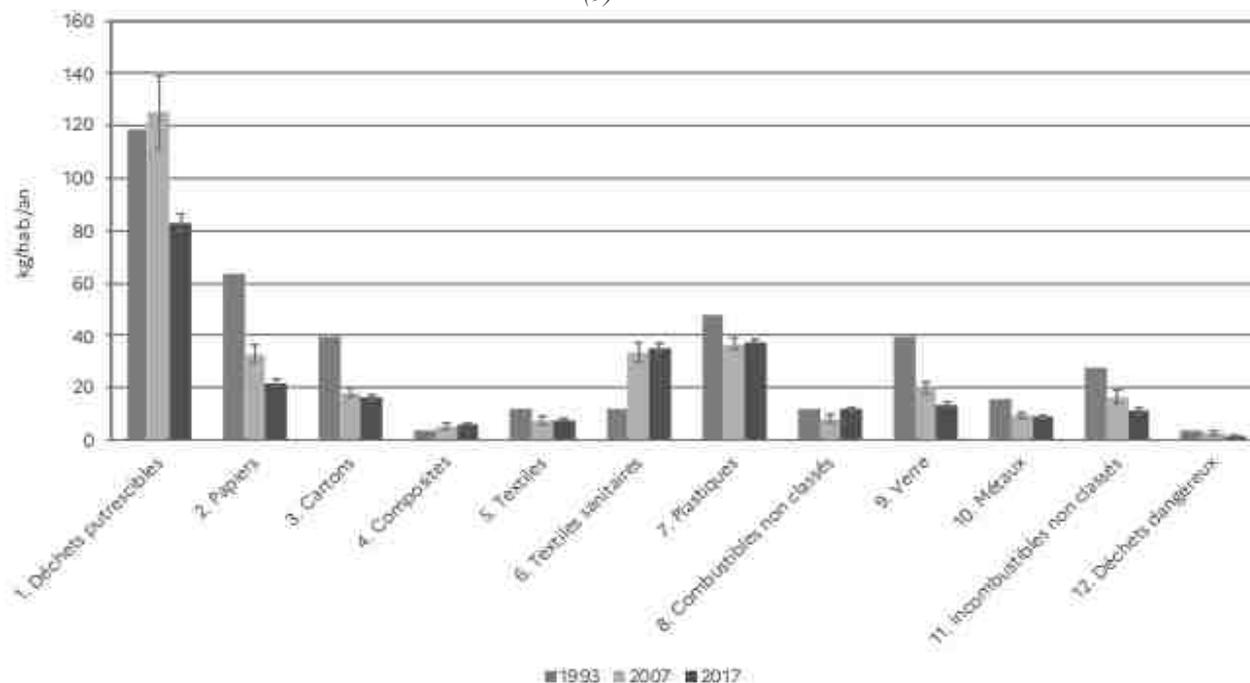
Après une hausse fluctuante du poids de déchets incinérés de 2000 à 2012, le tonnage de déchets incinérés a diminué par la suite, hors refus de traitement (déchets refusés par les centres de tri et de compostage et finalement pris en charge en UIOM). En intégrant ces derniers (ce qui correspond au tonnage réel de déchets incinérés), le tonnage de déchets incinérés reste stable depuis 2012 (14,2 Mt en 2012, 14,4 Mt en 2016).

La quasi-totalité des UIOM permet actuellement une production d'énergie, sous forme majoritairement thermique (9799 GWh), mais également électrique (4360 GWh). La plupart des usines permettent une cogénération thermique et électrique à la fois. L'énergie obtenue par ces deux modes de production est croissante au fur et à mesure des années (3241 GWh d'énergie électrique et 8331 GWh d'énergie thermique produits en 2004 contre respectivement 4360 et 9799 GWh en 2016. En moyenne en 2016, 984 kWh d'énergie (thermique et électrique) est obtenu à partir d'une tonne de déchets incinérés. En 2014, les OMR représentaient la majorité des déchets pris en charge au sein des UIOM (81%), suivis des DAE (11%), et des refus de traitement (4%) (6).

I.1.4 Composition et nature des OMR

Plusieurs campagnes ont été spécifiquement organisées par l'ADEME (MODECOM) pour analyser la composition des ordures ménagères (1993, 2007, 2017) (7).

Figure n° 6 : Évolution de la composition des OMR en kg/hab./an en 1993, 2007 et 2017
 Source : ADEME - MODECOM 2017 Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés (9)



Si la part de papier, de carton et de verre est en diminution, la part de plastique reste globalement stable. Il existe une augmentation importante de la part de textiles sanitaires (lingettes, couches, serviettes hygiéniques...). La composition des différentes catégories de déchets est détaillée pour la campagne de 2017 dans le Tableau n° 1.

Tableau n° 1 : Ratio d'OMR émises par kg/ habitant/ an, en fonction de la catégorie de déchets, et principaux éléments retrouvés ;
 Source : ADEME - MODECOM 2017 Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés (9)

Catégorie de déchets	Ratio (kg/hab./an)	Principaux éléments retrouvés dans cette catégorie (Campagne de 2017)
Déchets putrescibles	83,1	Déchets alimentaires, déchets de jardin
Plastiques	37,3	Films plastiques, sacs poubelles, bouteilles, flacons
Textile sanitaires	35,3	Papiers souillés, couches, serviettes hygiéniques
Papiers	21,9	Publicités, papiers bureautiques, journaux, emballages
Cartons	16,3	Emballages en carton
Verres	13,6	Emballages en verre
Combustibles non classés	11,6	Chaussures, emballages en bois
Incombustibles non classés	10,8	Emballages incombustibles
Métaux	8,7	Emballages en métaux ferreux et en aluminium
Textiles	7,7	Vêtements, linge
Composites	5,9	Petits appareils ménagers, emballages de produits liquides
Déchets dangereux	1,6	Piles, déchets médicaux
Total	253.8	

Concernant la composition détaillée des déchets en métaux, leurs teneurs respectives ont été mesurées lors des campagnes de 1993 et 2007 (Tableau n° 2).

Tableau n° 2 : Teneur moyenne en métaux des OMR lors des campagnes de caractérisation de 1993 et 2007; Source : ADEME - La composition des ordures ménagères et assimilées en France (8)

Métal	Teneur moyenne dans les OMR en 1993 (mg/kg)	Teneur moyenne dans les OMR en 2007 (mg/kg)
Arsenic	5	2,5
Cadmium	4	1,3
Chrome	183	87
Cuivre	1 048	56
Mercur	3	0,1
Nickel	48	20
Plomb	795	Non mesurée
Sélénium	0,02	0,22
Zinc	1000	301

I.2 Description d'une UIOM

Cinq grandes unités peuvent être décrites au sein d'une UIOM (9) :

- Hall de déchargement et fosse à déchets ;
- Four où se fait la combustion des déchets ;
- Chaudière qui permet la récupération d'énergie thermique et électrique ;
- Dispositifs de traitement des fumées ;

- Extracteur de mâchefers.

Une Plateforme de Traitement des Mâchefers (PTM) et une unité de broyage des encombrants sont également présentes à proximité de l'UIOM étudiée.

L'ensemble de l'activité de l'usine est piloté depuis la **salle de contrôle**, où sont surveillés en continu différents paramètres de la chaîne d'incinération (température et pression dans les fours et les chaudières, taux de polluants...). Elle contient également le poste de commande des grappins pour la manutention des déchets entrants, avec une fenêtre vitrée donnant sur la fosse à déchets.

Deux types de résidus sont principalement produits au cours du processus :

➤ Les **Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères (REFIOM)** sont constitués de résidus collectés lors du traitement des fumées (cendres récupérées dans la chaudière ou pendant la filtration des fumées, résidus produits par le traitement des fumées, gâteaux de filtration issus de l'épuration des fumées...);

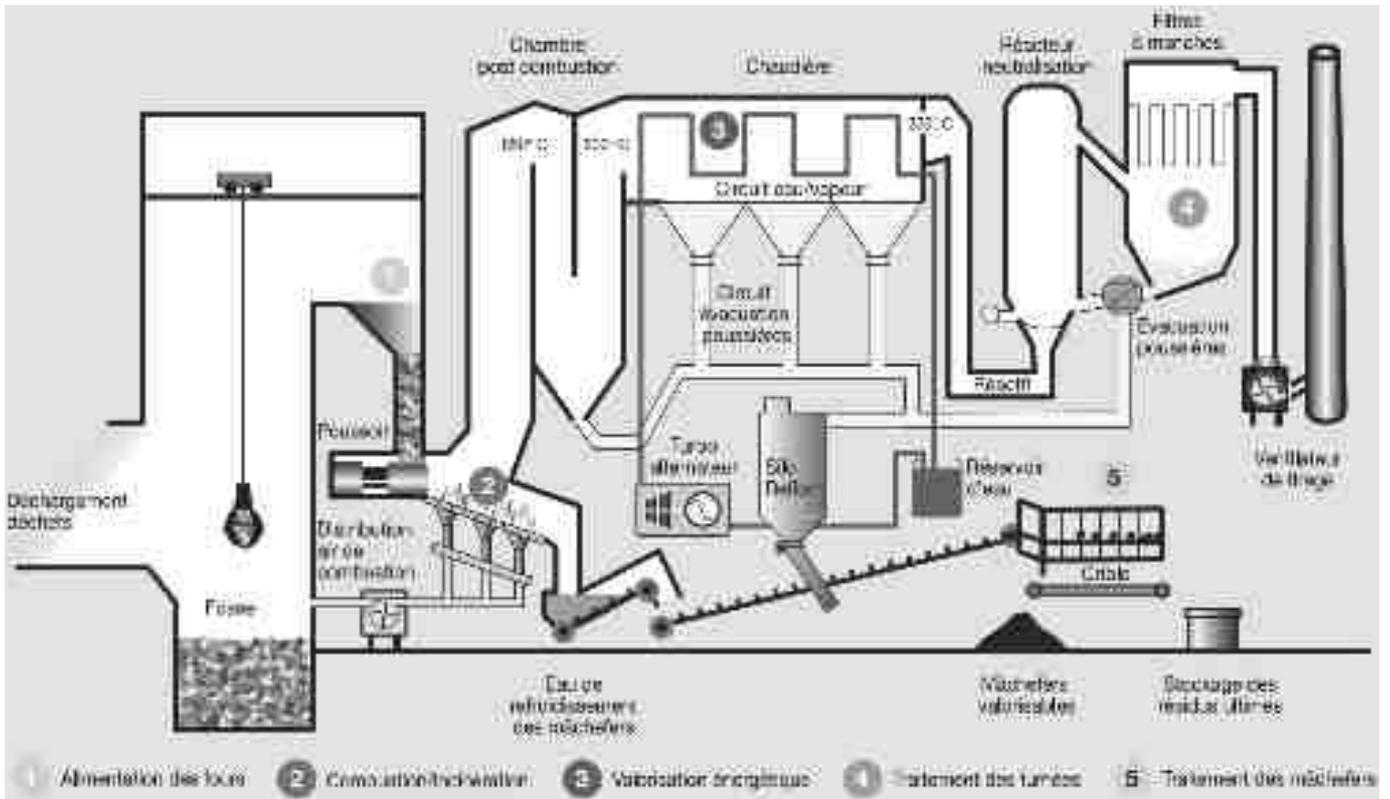
➤ Les résidus solides qui tombent à la base des fours après la combustion sont dénommés **Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères (MIOM)**. Ils sont constitués en majorité de cendres, de matériaux incombustibles (silicate, alumine, métaux...) et d'éléments imbrûlés. Pour la suite du document nous utiliserons l'appellation simplifiée « **mâchefers** » qui est l'appellation la plus courante.

Une tonne de déchets incinérés produit en moyenne environ 25 à 50 kg de REFIOM et 250 kg de mâchefers (dont 1 kg de métaux non ferreux et 20 kg de métaux ferreux) (10).

Figure n° 7: Schéma simplifié du mode de fonctionnement d'une UIOM

Source : INRS - Conception des usines d'incinération des ordures ménagères - ED 946 (9)

NB: Il n'y a pas de filtres à manches sur l'UIOM étudiée, le dispositif de traitement des fumées est détaillé sur la Figure n° 8.



I.2.1 Hall de déchargement

Les OMR sont amenés sur site par des camions de collecte d'ordures ménagères (camions-poubelles). Ces derniers sont pesés sur un pont bascule, et contrôlés par un portique de détection de radioactivité. Ils rentrent ensuite dans le hall de déchargement et déversent leur contenu dans la fosse à déchets. Le hall est couvert pour éviter l'envol de déchets et de poussières. Des grappins situés sur des ponts roulants au-dessus de la fosse vont pouvoir saisir les déchets et les décharger dans les trémies d'alimentation des fours. Les trémies sont situées en hauteur, au niveau du plateau de chargement des déchets. Ce dernier constitue une zone de circulation permettant l'accès aux grappins, aux ponts roulants et aux trémies. Les grappins sont également utilisés pour mélanger les différentes strates de déchets pour homogénéiser l'ensemble et permettre un fonctionnement optimal du four avec une arrivée de déchets de

nature relativement stable. Le hall est mis en dépression par aspiration d'air au-dessus de la fosse. L'air aspiré est utilisé pour alimenter la combustion des déchets au sein du four.

I.2.2 Four

Chaque trémie d'alimentation correspond au départ d'une ligne d'incinération indépendante qui comprend l'ensemble four/chaudière/unité de traitement des fumées. Une fois introduits, les déchets tombent dans une goulotte et sont dirigés vers le four par un système de poussoir. Le four utilisé dans l'installation étudiée est à grilles mobiles : le processus de combustion se fait sur une succession de grilles disposées en marches d'escalier, et animées d'un mouvement de va-et-vient qui va permettre l'avancée des déchets. L'incinération des déchets se fait en auto-combustion : une fois le four en marche, il n'y a normalement pas besoin de combustible supplémentaire. Il existe cependant des brûleurs d'appoint pour démarrer le processus de combustion après un arrêt du four afin de permettre d'atteindre la température de combustion de 850°, et pour suppléer en cas de baisse temporaire de la température. Une température de plus de 850°C pendant au moins 2 secondes est en effet requise pour permettre la destruction des dioxines et de certains composés organiques. En complément de l'air inspiré dans le hall, des ventilateurs amènent de l'air nécessaire à la combustion. Les espaces de travail autour du hall four/chaudière/traitement des fumées sont placés en dépression de manière à ce qu'il n'y ait pas de dispersion de fumées.

I.2.3 Chaudière

Les fumées vont tout d'abord être refroidies dans une chaudière de récupération d'énergie, qui va capter la chaleur des gaz de combustion et permettre la production de vapeur d'eau surchauffée à haute température et haute pression, via un système d'échange thermique (conduites d'eau). La vapeur peut être utilisée pour alimenter un réseau de chauffage urbain (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire d'habitation ou d'entreprises voisines), ainsi que pour permettre le fonctionnement d'un groupe turbo alternateur qui pourra produire de

l'énergie électrique. La majorité des UIOM (dont l'exploitation étudiée) utilisent actuellement ces deux modes de valorisation énergétique en cogénération. Afin d'enlever les dépôts de poussières (REFIOM) qui se forment sur les radiateurs, un système de nettoyage est intégré dans le fonctionnement de la chaudière. Dans l'UIOM étudiée, une technique de micro détonation est en place depuis 2021, en remplacement du système de grenailage qui existait auparavant. Un ramonage manuel à air comprimé peut également être effectué en complément.

I.2.4 Installation de traitement des fumées

Les fumées de combustion sont chargées de multiples polluants et vont passer par différentes étapes de traitement avant d'être rejetées par la cheminée.

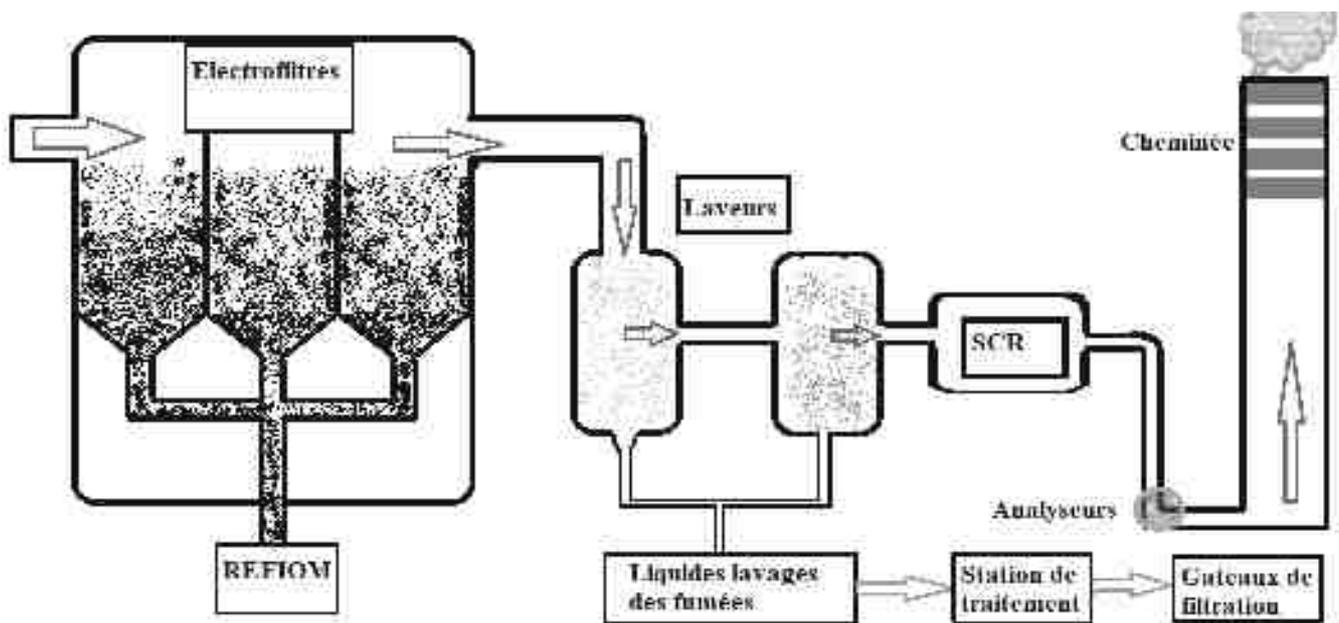


Figure n° 8 : Schéma simplifié de l'installation de traitement des fumées de l'UIOM étudiée

Dans l'exploitation étudiée, trois étapes peuvent être distinguées.

- Les fumées sont dans un premier temps dépoussiérées par un **système d'électrofiltres**. Les cendres sont ionisées par voie électrique et vont être attirées sur des plaques verticales (électrodes réceptrices), sur lesquelles elles s'accumulent, avant d'être récupérées dans des trémies.

➤ Les fumées passent ensuite à travers différentes unités de **lavage humide**. La traversée de 2 grandes colonnes (une basique à base de chaux, et une acide à base d'ammoniac) permet la neutralisation des gaz acides ainsi que le captage des poussières résiduelles et des métaux lourds. Les liquides récupérés suite au lavage des fumées sont pré-traités sur place par des processus physico-chimiques, permettant après décantation la récupération de matière solide sous forme de « gâteau de filtration ».

➤ Enfin, les fumées sont traitées via un système de réduction catalytique sélective (dénommé **SCR**, acronyme de **Selective Catalytic Reduction**) qui permet le traitement des oxydes d'azote et des dioxines.

Après traitement, les fumées sortent par les 3 tuyaux de la cheminée (correspondant chacun à une ligne four/chaudière/traitement des fumées). Une surveillance des polluants par des analyseurs est réalisée en continu ou semi-continu (11).

L'ensemble du processus de traitement des fumées conduit à la formation des REFIOM, qui comprennent les cendres, récupérées dans les chaudières et les électrofiltres, ainsi que les gâteaux de filtration issus du traitement des fumées. Les REFIOM comportent un certain nombre de polluants (métaux lourds, dioxines...) (12). Dans le processus de traitement des fumées, ils sont recueillis et déplacés par système de convoyage pneumatique, sans intervention humaine, vers un silo fermé. Ils sont dépotés de manière périodique dans un camion-citerne. En cas de dysfonctionnement du système de convoyage (bourrage) ou de défauts techniques, ils sont déversés dans des « big bags » (sacs de grande contenance en polypropylène épais) et entreposés à l'extérieur. L'ensemble des REFIOM est transféré dans un centre de stockage des déchets ultimes.

Les effluents liquides issus du lavage humide des fumées vont être récupérés avec d'autres rejets liquides (eaux issues du refroidissement des mâchefers, nettoyage du sol et du générateur...). Ils sont pré-traités sur place avant envoi en station d'épuration. Les réactifs

nécessaires au processus de traitement (soude, acide chlorhydrique, ammoniac...) sont stockés dans des silos fixes sur le site de l'UIOM.

I.2.5 Extracteur de mâchefers :

Les matériaux collectés en fin de combustion, autrement dit les mâchefers, vont subir une extinction humide. Dans l'entreprise étudiée, les mâchefers descendent par gravité dans une goulotte semi-immersée dans un canal rempli d'eau, avant d'être transportés via un convoyeur d'évacuation (tapis à chaîne) dans une fosse.

I.2.6 Plateforme de traitement des mâchefers :

Sur le site étudié, les mâchefers sont transférés à l'aide d'un grappin dans un camion qui les conduit sur la PTM située à une centaine de mètres. Les mâchefers passent par une installation où ils sont criblés (avec séparation des éléments imbrûlés), puis déferraillés (permettant la récupération des métaux ferreux et non ferreux). Ils sont ensuite laissés plusieurs semaines en maturation, regroupés en différents monticules. La maturation permet la stabilisation et la diminution du taux de certains polluants ainsi que la diminution du taux de carbone organique (13). En fonction de leurs qualités chimiques (comportement à la lixiviation et teneur en éléments polluants), les mâchefers peuvent ensuite être valorisés comme sous-couches ou remblais routiers (14). S'ils ne correspondent pas aux normes requises, ils sont emmenés vers un centre de stockage des déchets ultimes.

I.2.7 Composition des mâchefers et des REFIOM

Plusieurs études se sont intéressées à la composition des mâchefers et REFIOM (Tableau n° 3). Les mâchefers se composent principalement de silicates et d'alumines (63%), de calcaire, de chaux, de métaux, ainsi que d'éléments imbrûlés (suivant la qualité de la combustion) (15). Suivant les propriétés physico-chimiques de chaque substance, la répartition se fera de manière différente dans les rejets (7,16–18). Le mercure, volatil, va essentiellement être

retrouvé dans les fumées puis les REFIOM. Le plomb et le cadmium vont également être davantage présents dans les REFIOM. Le fer, le chrome et le nickel, lithophiles, auront tendance à être éliminés dans les mâchefers. Les taux peuvent néanmoins varier d'un prélèvement à un autre, suivant la période de l'année, le type de technologie utilisée pour la combustion et le traitement des fumées, la nature des déchets incinérés, etc. Une variation de la teneur en métaux des REFIOM et mâchefer peut être observée en fonction du ratio de déchets encombrants broyés dans l'apport de déchets total (19), ainsi que selon le niveau de recyclage préalable des ordures ménagères (20). Certaines études mentionnent que les REFIOM et mâchefers peuvent avoir des propriétés génotoxiques et mutagènes (21–24).

Tableau n° 3 : Composition chimique des mâchefers et des REFIOM (Métaux et silice en mg/kg M.S. [Matière Sèche], PCDD et PCDF en ng I-TEQ/kg M.S.)
N.C. = Non Connu

Substance	Origine (8,17,25,26)	Mâchefers		REFIOM		
		Source: SFSP (1999) (27), d'après POLDEN 1998 (28)	Source: RECORD (2015) (13)	Cendres volantes	REFIOM sec issus du traitement des fumées	Gâteau de filtration
Aluminium (Al)	Emballages métalliques (canettes, capsules de café...)	58 000	69 000	/		
Antimoine (Sb)	Alliage, batteries, retardateurs de flamme	/	108	/		
Arsenic (As)	Verre, composants électroniques	10	7	20	12	29
Bore (B)	Alliages métalliques, lessive, verres	/	162	/		
Baryum (Ba)	Colorants, peinture, verres	/	2 239	/		
Cadmium (Cd)	Plastiques (pigment ou revêtement de surface), accumulateurs électriques	15	15	317	239	425
Cobalt (Co)	Plastiques et papiers cartons (pigment ou encre d'imprimerie)	/	17	/		
Chrome (Cr)	Pigments et colorants (verre, plastique...), alliages (pièces chromées), composants électroniques	433	366	263	73	344
Cuivre (Cu)	Fils électriques, composants électroniques, alliages	1 423	4 905	1002	541	1145
Étain (Sn)	Soudure, composants électroniques, alliages	173	653	592	/	1140

Fer (Fr)	Alliages métalliques, composants électroniques	76 000	49 000	/		
Magnésium (Mg)	Alliages métalliques	16 000	17 000	/		
Manganèse (Mn)	Piles, déchets métalliques, verre	944	1 183	475		1411
Mercury (Hg)	Piles, composants électroniques, tubes fluorescents, peintures, anciens thermomètres	13	1	28	36	119
Molybdène (Mo)	Alliages	/	6	/		
Nickel (Ni)	Accumulateurs électriques, alliages, composants électroniques	123	160	64	51	142
Plomb (Pb)	Accumulateurs au plomb, batteries, alliages, composants électroniques, cristal et céramique, anciennes peintures au plomb	1731	1 092	6626	3872	9039
Strontium (Sr)	Pigments, tubes cathodiques	/	294	/		
Titane (Ti)	Pigments, alliages	5 700	7 157	/		
Vanadium (V)	Alliages métalliques	/	60	/		
Zinc (Zn)	Piles, alliages métalliques (laiton), déchets putrescibles, textiles	2195	4 389	20385	13 285	18750
Zirconium (Zr)		/	155	/		
Dioxines (PCDD/PCDF) <i>ng I-TEQ/kg M.S.</i>	Émission lors de l'incinération de dérivés chlorés à des températures inférieures à 850°	9	/	4 301	1 165	17 769
Silice (Si)	Matériaux réfractaires au sein des fours, déchets de chantiers	490 000	168 000	/		

Des niveaux importants d'aluminium, de baryum, de cuivre, de fer, de magnésium, de manganèse, de plomb, d'étain, de titane, de zinc, de dioxines et de silice peuvent être observés. Ces substances sont retrouvées sous différentes formes, souvent agrégées et cristallisées. Concernant les dioxines, les taux sont beaucoup plus importants au sein des REFIOU que dans les mâchefers.

I.2.8 Principales substances d'intérêt

Les **métaux** représentent plus de 3% des déchets présents dans les OMR. Lors du processus d'incinération, ils se retrouvent à la fois au sein des gaz de combustion, des REFIOU et des mâchefers.

On dénombre 86 métaux et 7 métalloïdes au sein du tableau périodique. Ils forment une vaste famille avec des caractéristiques variées (propriété électrochimiques, température de fusion. Ils peuvent être retrouvés purs ou sous forme d'alliage (mélanges de plusieurs métaux). Les détails individuels de chaque métal ne seront pas abordés ici. La toxicité de certains d'entre eux est abordée dans le Tableau n° 4.

Une **poussière** est définie comme « toute particule solide dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à 100 micromètres ou dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 mètre par seconde » (29).

Les poussières peuvent être inhalées et pénétrer plus ou moins profondément dans l'organisme, suivant leurs caractéristiques, notamment leur taille. Trois fractions d'aérosols peuvent être différenciées (30):

- Fraction inhalable : « fraction des particules de l'aérosol, présente dans la zone respiratoire ayant une probabilité d'être inhalées par le nez ou par la bouche » ;
- Fraction thoracique : « fraction des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent dans l'arbre respiratoire au-delà du larynx. Les particules d'un diamètre aérodynamique de 10 μm ont une probabilité de pénétration de 50 % » ;
- Fraction alvéolaire « fraction des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà des bronchioles non ciliées. Les particules d'un diamètre aérodynamique de 4 μm ont une probabilité de pénétration de 50 % ».

Au sein des poussières, de multiples composés peuvent être retrouvés, dont certains connus pour leur pathogénicité, comme le bois, l'amiante, la silice. Ces derniers possèdent des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelles (VLEP) réglementaires contraignantes.

Les Poussières dites Sans Effet Spécifique (PSES) sont des « poussières qui ne sont pas en mesure de provoquer seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain d'autre effet qu'un effet de surcharge » (31).

Les **dioxines** sont des Polluants Organiques Persistants (POP). De manière générique, le terme « dioxine » regroupe les polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF, ou furanes). Elles correspondent à des molécules organiques chlorées produites lors de procédés de combustion comprenant des atomes de carbone, oxygène et chlore, à une température inférieure à 850°. Certains facteurs peuvent favoriser la formation de dioxine (13): “une température de combustion faible”, “des conditions non homogènes dans le four”, “une combustion incomplète des matières organiques” et la “présence initiale de dioxines et de précurseurs (molécules aromatiques et aromatiques chlorés) dans les flux entrants”. L’effet sanitaire des dioxines émises par les UIOM est un sujet de préoccupation sociétal depuis un certain nombre d’années. Des études réalisées dans les années 1980 avaient alerté sur les niveaux d'exposition aux dioxines au sein et autour des UIOM. Les normes d’émission et les processus de combustion ont toutefois fortement évolué depuis 40 ans.

Les dioxines sont lipophiles et stockées dans les graisses, avec une demi-vie d’élimination importante. Parmi les PCDD et PCDF, plus de 200 éléments (congénères) sont répertoriés. Pour mesurer la toxicité totale d’un mélange de dioxine, des échelles d’équivalence de toxicité sont utilisées pour chaque dioxine, en estimant sa toxicité par rapport à celle de la 2,3,7,8 TCDD (dioxine dont la toxicité est la mieux documentée, aussi dite «Dioxine de Seveso»). Un facteur d’équivalence toxique (ou Toxic Equivalence Factor [TEF]), compris entre 0 et 1, est ainsi attribué à chaque dioxine. L’ indice global de toxicité (ou Toxic Equivalent Quantity [TEQ]) correspond à la toxicité estimée d’un mélange de dioxine. Deux systèmes coexistent pour attribuer un facteur TEF à chaque congénère: l’indice défini par l’OTAN (Organisation du Traité de l'Atlantique Nord) en 1997, et un indice défini par l’OMS (Organisation Mondiale de la Santé), mis à jour en 2005. Pour la suite de ce travail, nous parlerons de «I-TEQ» (International Toxic Equivalent) lorsque nous utiliserons le système OTAN, et de «TEQ» lorsque nous utiliserons le système OMS. En pratique, les deux systèmes utilisent des

valeurs relativement similaires. Les émissions de dioxines dans les fumées sont réglementées depuis 2002 en France. Elles ont considérablement diminué depuis 30 ans, passant de 445 g I-TEC en 1990 à 0,557 g I-TEC en 2019 (32). Ces données concernent les fumées émises en sortie de cheminée et sont plutôt d'ordre environnemental. Une diminution des taux de dioxines dans les REFIOM et mâchefer est également probable du fait des progrès techniques au sein des incinérateurs.

Certains **Poly-Chloro-Biphényles (PCB)** ont une structure et une activité similaire à celle des dioxines. Ils sont appelés PCB « dioxin-like » (PCB-DL). En dehors des dioxines chlorées, des **dioxines bromées** (PBDD/PBDF) peuvent également être produits lors de l'incinération. Il s'agit de dioxines où les atomes de chlore sont remplacés par des atomes de brome. Les niveaux semblent plus faibles et leur toxicité est moins documentée jusqu'à présent (33).

Les **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** correspondent à un ensemble de composés organiques, contenant un atome de carbone, relativement denses et lourds. Ils sont constitués de centaines de substances, en général produites lors de la combustion incomplète de matière organique. Parmi ces composés certains sont reconnus cancérigènes comme le Benzo(a)Pyrène (B(a)P)

Les **Composés Organiques Volatils (COV)** regroupent un ensemble de substances organiques légères et volatiles, et qui se retrouvent facilement sous forme gazeuse (acétaldéhyde, benzène, dichlorométhane, formaldéhyde, perchloroéthylène, toluène, xylène...).

I.3 Législation

I.3.1 Risque chimique

Un **agent chimique** est défini dans le code du travail comme « tout élément ou composé chimique, soit en l'état, soit au sein d'un mélange, tel qu'il se présente à l'état naturel ou tel

qu'il est produit, utilisé ou libéré, notamment sous forme de déchet, du fait d'une activité professionnelle, qu'il soit ou non produit intentionnellement [...] » (34).

Un **Agent Chimique Dangereux (ACD)** correspond à une substance ou mélange qui :

-répond « aux critères de classification relatifs aux dangers physiques, aux dangers pour la santé ou aux dangers pour l'environnement définis à l'annexe I du règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 » (35) ;

-peut « présenter un risque pour la santé et la sécurité des travailleurs en raison de ses propriétés physico-chimiques, chimiques ou toxicologiques et des modalités de sa présence sur le lieu de travail ou de son utilisation » (36).

Les **agents Cancérogènes, Mutagènes ou toxiques pour la Reproduction (CMR)**, sont classifiés par l'Union européenne selon le règlement CLP (Classification, Labelling, Packaging). Pour chaque effet potentiel (cancérogène, mutagène ou reprotoxique), un niveau de suspicion d'effet est associé : 1A (effet avéré), 1B (effet supposé) et 2 (effet suspecté, mais preuves insuffisantes). Le code du travail, dans sa définition des agents CMR (37), inclut les produits de catégorie 1A ou 1B du règlement CLP, ainsi que d'autres agents spécifiques à certains milieux (poussière de bois, Hydrocarbure Aromatiques Polycycliques [HAP]...).

I.3.2 Employeur

Le code du travail (38) précise que « l'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale de ses salariés ». Elles comprennent des actions « de prévention des risques professionnels », « d'information et de formation », ainsi que « la mise en place d'une organisation et de moyens adaptés ».

L'article L4121-2 (39) revient sur les principes généraux de prévention, avec en premier l'éviction des risques ou l'évaluation de ceux qui ne peuvent pas être évités. Les risques doivent être combattus à la source, en adaptant le travail à l'homme (notamment dans la conception des postes, des équipements et des méthodes de travail). Le texte prescrit en outre la prise en compte des évolutions techniques, la substitution des éléments dangereux et la

planification de la prévention. Il mentionne enfin la mise en place de mesures de protection (collectives plutôt qu'individuelles), et la transmission d'instructions appropriées aux travailleurs.

L'évaluation des risques doit être formalisée par écrit dans le Document Unique d'Evaluation des Risques Professionnels (DUERP), mis à jour de manière annuelle (40). Ce dernier doit, entre autres, évaluer le niveau de risque chimique auquel les salariés sont exposés, en particulier lié aux ACD et aux produits CMR. Le personnel doit être informé de la présence d'agents CMR. L'utilisation d'un système clos est préconisée (41).

Pour les ACD et agents CMR, il peut exister une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP) (42). Elle est définie comme « la limite de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration d'un agent chimique dangereux dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée ». La période de référence peut être de 15 min (Valeur Limite à Court Terme [VLCT]) ou de 8h (VLEP 8h). Ces VLEP peuvent être contraignantes ou indicatives. Pour les substances CMR, l'employeur doit réaliser un contrôle par un organisme accrédité de manière annuelle, ou en cas de modifications de l'exposition (43). Pour les ACD non CMR, un contrôle annuel doit être organisé si l'évaluation est en faveur d'un risque non faible (44).

Des Groupes d'Exposition Homogène (GEH) doivent être constitués. Une campagne d'au moins 3 mesures par GEH pour chaque polluant doit être effectuée. En cas de dépassement d'une VLEP, les conditions suivantes s'appliquent (45) (46) :

	Agent CMR de catégorie 1A ou 1B	ACD ou Agent CMR de catégorie 2
VLEP Contraignante	Arrêt du travail aux postes de travail concernés, jusqu'à la mise en œuvre des mesures propres à assurer la protection des travailleurs	Mise en place immédiate de mesures de prévention et de protection propres à assurer la protection des travailleurs
VLEP Indicative	Évaluation des risques afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées	

Si au moins une mesure est comprise entre 10 et 100% de la VLEP, une deuxième voire une troisième campagne de mesure devront être pratiquées.

Pour les femmes enceintes, la législation prévoit que l'employeur propose un changement de poste temporaire en cas d'exposition à certaines substances, notamment à des agents reprotoxiques (catégories 1A et 1B selon le règlement CLP) (47).

I.3.3 Service de santé au travail

Pour les agents exposés aux ACD (48), le médecin du travail peut notamment prescrire des examens médicaux nécessaires à la surveillance biologique des expositions. Une Valeur Limite Biologique (VLB) est définie pour le plomb (49). Le travailleur est informé des résultats et de leur interprétation. L'employeur est seulement informé de l'interprétation anonyme et globale des résultats en garantissant le respect du secret médical. Si une plombémie dépasse la VLB, une évaluation des risques et la mise en place de mesures de prévention doivent être pratiquées. Tout travailleur exposé à des ACD se déclarant incommodé par des travaux qu'il exécute peut demander à être examiné par le médecin du travail. En cas de maladie professionnelle, ou d'anomalie pouvant être liées à une exposition à un ACD, le médecin détermine la pertinence et la nature des examens éventuellement nécessaires pour les travailleurs ayant subi une exposition comparable. Si cela intervient dans le cadre d'une exposition à un agent CMR, tous les travailleurs ayant subi une exposition comparable sur le même lieu de travail font l'objet d'un examen médical, assorti d'éventuels examens complémentaires.

Un **Suivi Individuel Renforcé (SIR)** est prévu pour les salariés exposés à certains risques particuliers, dont l'exposition à des agents CMR. Un premier examen d'aptitude à l'embauche est alors prévu, permettant de l'informer sur les risques liés aux expositions à son poste, et de le sensibiliser aux moyens de prévention (50). Par la suite, les salariés bénéficient de visites médicales d'aptitude de manière périodique (tous les 4 ans au maximum, avec une visite intermédiaire à deux ans). Pour chaque travailleur, le médecin collige les expositions aux ACD et aux CMR dont il a connaissance, ainsi que les examens complémentaires réalisés.

Lors du départ du salarié de l'entreprise, une **attestation d'exposition** aux agents cancérigènes est remise par l'employeur (remplie par lui et le médecin du travail). L'attestation mentionne les expositions aux agents cancérigènes, la période, les mesures d'exposition effectuées, ainsi que des éléments d'informations fournis par le médecin du travail et adressés à un médecin choisi par le salarié (constatations cliniques, existence ou absence d'anomalies en relation avec l'agent, procédés cancérigènes concernés ; examens complémentaires associés effectués...) (51). L'attestation d'exposition permet la prise en charge d'une **surveillance médicale post-professionnelle** (52) après l'accord de la Caisse Primaire d'Assurance Maladie (CPAM).

Depuis le 1er octobre 2021, la **visite médicale de fin de carrière** est devenue obligatoire pour les salariés bénéficiant ou ayant bénéficié d'un SIR (53). L'employeur doit informer le service de santé au travail de la mise en retraite d'un salarié. Le médecin du travail détermine alors les expositions antérieures du salarié selon les différents postes occupés pendant sa carrière (amiante, rayonnement ionisant, plomb, agents CMR...), en fonction des éléments présents dans le dossier médical en santé au travail et des déclarations du salarié. Le médecin établit en fin de visite un document récapitulant les risques professionnels auxquels le salarié a été exposé. Suivant la nature des risques professionnels identifiés, le médecin peut préconiser une surveillance post-professionnelle en lien avec le médecin traitant.

I.3.4 Spécificités liées au secteur d'activité

L'arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux (11) impose un cadre juridique contraignant au secteur. Des valeurs limites d'émissions atmosphériques y sont définies pour certains polluants générés : poussières totales, chlorure d'hydrogène, monoxyde de carbone (CO), Composés Organiques Volatils (COV), fluorure d'hydrogène, dioxyde de soufre, oxyde d'azote, protoxyde d'azote, ammoniac, dioxines (dont furanes), et certains métaux : Antimoine (Sb), Arsenic (As),

Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Manganèse (Mn), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Thallium (Tl), Vanadium (V).

Un suivi en continu ou semi-continu des rejets atmosphériques doit être respecté et transmis aux autorités compétentes. Un seuil de moins de 60 heures de dépassement annuel par four est autorisé. Étant susceptibles d'avoir un impact environnemental et sanitaire, les UIOM font partie des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et sont donc soumises à un suivi régulier par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), qui assure des contrôles périodiques ou inopinés. L'entreprise doit également transmettre les analyses des résidus d'incinération, des eaux pluviales et des eaux industrielles. Une surveillance de l'impact environnemental des exploitations doit aussi être réalisée. Un arrêté préfectoral fixe les dispositions à respecter pour chaque installation.

I.4 Toxicité

I.4.1 Notion de toxicologie

En milieu professionnel, l'**absorption** des différentes substances dans l'organisme peut se faire par 3 voies principales : inhalation, ingestion, pénétration cutanée. L'absorption dépend de multiples facteurs (nature de la substance, conditions d'utilisation, moyens de protection en place, co-exposition à d'autres substances...).

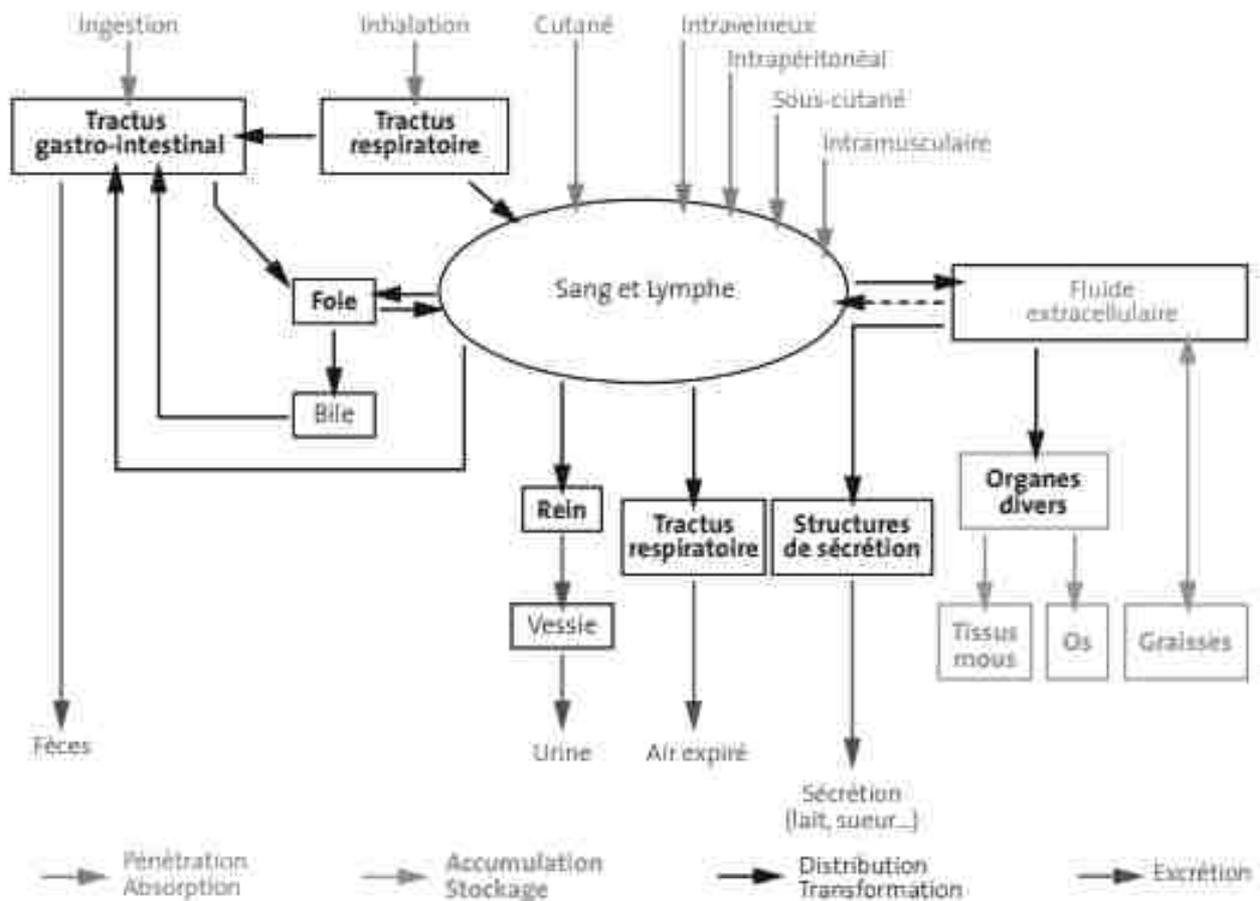
- **L'inhalation** est la voie d'entrée majoritaire dans la plupart des milieux de travail. Suivant la taille des particules, leur degré de pénétration sera différent au sein du tractus respiratoire. Les plus grosses particules ($>5 \mu\text{m}$) se déposeront principalement au niveau des voies aériennes supérieures (pharynx, larynx), tandis que les plus fines ($<1 \mu\text{m}$) atteindront les poumons et alvéoles pulmonaires.

- **L'ingestion** peut se faire par contact de mains souillées avec la bouche, ou par déglutition de substances préalablement inhalées et coincées dans le mucus.
- **La pénétration cutanée** se fait par contact direct du produit avec la peau ou les muqueuses (contact des doigts avec les yeux).

Une fois la substance absorbée, elle sera **distribuée** au sein des différents compartiments de l'organisme, **métabolisée**, puis **éliminée**, majoritairement à travers les selles et les urines. Ces mécanismes peuvent varier en fonction des caractéristiques de chaque individu (poids, taille, métabolisme, traitement médicamenteux...). La figure n° 9 permet une représentation synthétique.

Figure n° 9 : Métabolisme des substances chimiques dans l'organisme.

Source: INRS, À propos des fiches toxicologiques (54)



Une distinction peut être apportée entre toxicité aiguë, toxicité subaiguë/subchronique et toxicité chronique.

Certains composés ont une toxicité à partir d'un certain seuil. Une dose sans effet nocif observable (NOAEL: Non Observed Adverse Effect Level) peut alors être déterminée.

Pour d'autres substances, il est considéré qu'il n'existe pas de seuil, et qu'un effet toxique peut être observable même pour une faible dose. Il s'agit notamment des produits ayant des effets génotoxiques et cancérigènes.

En cas d'exposition à plusieurs substances, des interactions peuvent avoir lieu. Trois grands types d'interaction peuvent être distingués (55): Additivité (Addition: $1 + 2 = 3$), Infra-additivité (Antagonisme: $1 + 3 = 2$) et Supra-additivité (Potentialisation : $1 + 2 = 5$, ou Synergie: $0 + 3 = 5$).

I.4.2 Toxicité par substance

Certaines substances auxquelles les salariés d'UIOM peuvent être exposés ont été identifiées dans un premier travail de mémoire. Le Tableau n° 4 permet de synthétiser des éléments relatifs à certaines de ces substances.

- La voie d'absorption principale au sein du corps humain est en général respiratoire ;
- Les **types d'atteintes potentielles** pouvant être retrouvées lors d'une **exposition chronique** aux composés mentionnés sont détaillés. Ces dernières ont principalement repris les données issues des fiches toxicologiques mises à disposition par l'INRS (56). Les atteintes potentielles aiguës spécifiques à chaque substance n'ont volontairement pas été abordées ;
- Le **caractère CMR** des substances est indiqué selon le règlement CLP (abordé dans la partie législation) ;

- La **cancérogénicité** de chaque produit, évaluée selon la classification du Centre International de Recherche sur le Cancer (**CIRC**) est également abordée (57) : Groupe I (cancérogène certain), groupe IIA (probablement cancérogène), groupe IIB (peut-être cancérogène), groupe III (inclassable), groupe IV (probablement pas cancérogène) ;
- Les **tableaux des maladies professionnelles du Régime Général (RG)** associées à chaque substance sont abordés à titre indicatif, sans qu'ils ne comprennent en général les travaux ou tâches effectués au sein des UIOM. Les travaux indicatifs mentionnés dans les tableaux sont en effet le plus souvent spécifiques à certaines professions très exposées, dans des secteurs particuliers (par exemple pour les métaux l'extraction minière et sidérurgie...). Si une demande de reconnaissance de maladie professionnelle devait être faite en ne respectant pas les conditions indiquées, elle devrait être présentée devant le Comité Régional de Reconnaissance des Maladies Professionnelles (CRRMP) ;
- L'existence d'une VLEP réglementaire (contraignante, indicative) ou admise, ainsi que d'une VLB est également mentionnée.

Tableau n° 4 : Éléments relatifs à la toxicité de certaines substances identifiées lors du travail de mémoire

Substance	Voie d'absorption principale (56)	Principaux types d'atteintes potentielles liées à une intoxication chronique (56) (17) (58)	Classification CMR (CLP) (58)	Classification CIRC (57)	Tableaux existant de maladie professionnelles associées (RG) (59)	VLEP 8h / VLEP CT / VLB (60)
Métaux						
Chrome hexavalent et ses composés	Respiratoire	- <u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoire, développement de manifestations allergiques, cancer broncho-pulmonaire ; - <u>Dermatologique</u> : Ulcération, eczéma de contact ; - <u>ORL</u> : Cancer des cavités nasales.	C1A, M1B, R2	I	Tableaux 10, 10 bis et 10 (atteintes respectivement dermatologiques, respiratoires, et cancéreuses)	VLEP 8h contraignante (0,001 mg/m3) VLEP CT contraignante (0,005 mg/m3)
Aérosols d'oxydes de calcium	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires.	Non	Non	Non	VLEP 8h indicative (1 mg/m3) VLCT 15min indicative (4 mg/m3)
Plomb	Digestive (majoritaire) , respiratoire (notable)	- <u>Pulmonaire</u> : Cancer broncho-pulmonaire (suspecté) ; - <u>Appareil reproducteur</u> : Altération de la spermatogenèse ; - <u>Cardiovasculaire</u> : HTA ; - <u>Néphrologique</u> : Néphropathie (tubulaire, glomérulaire, interstitielle) ; - <u>Neurologique</u> : Encéphalopathie, altération des fonctions cognitives, neuropathie périphérique, atteinte auditive ; - <u>Hématologique</u> : Anémie ; - <u>Digestif</u> : cancer de l'estomac (suspecté).	<u>Pb</u> : C2 R1A <u>Certains composés du Pb</u> : -C1A, C1B, C2 -R1A	<u>Pb</u> : IIB <u>Certains composés du Pb</u> : -IIA	Tableau 1 (atteintes hématologiques, néphrologiques, neurologiques...)	VLEP 8H contraignante (0,1 mg/m3) Proposition de l'ANSES d'une nouvelle VLEP pragmatique de 30 µg/m3, soit 0.03 mg/m3 (61) Valeur recommandée «sur la base des effets neurologiques en retenant comme point de départ la valeur de plombémie de 180 µg/L» (61). <i>Existence d'une valeur limite biologique (VLB) : 400 µg/L de sang (H) 300 µg/L (F)</i>

Cadmium	Respiratoire	- <u>Pulmonaire</u> : Emphysème, trouble ventilatoire obstructif, cancer broncho-pulmonaire ; - <u>Cardiovasculaire</u> : Athérosclérose - <u>Néphrologique</u> : Néphropathie tubulaire ; - <u>Tissu osseux</u> : Ostéomalacie.	<u>Certains composés</u> : -C1B/C2 -M1B/M2 -R1B/R2	I	Tableau 61 (atteintes pulmonaires, digestives, néphrologiques et osseuses) et 61 bis (cancer broncho-pulmonaire).	<u>Cadmium et ses composés inorganiques</u> : VLEP 8h indicative (0,004 mg/m ³) <u>Oxyde de cadmium</u> VLEP CT contraignante (0,05 mg/m ³)
Fer	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Pneumoconiose de surcharge (sidérose), cancer broncho-pulmonaire (oxyde de fer).	Non	III	Tableau 44 (sidérose) et 44 bis (cancer broncho-pulmonaire)	<u>Trioxyde de fer</u> : VLEP 8h admise (5 mg/m ³) <u>Oxyde de fer</u> : VLEP 8h admise (10 mg/m ³)
Cuivre	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires, pneumoconiose.	Non	III		VLEP 8h admise (circulaire) de 0,2 mg/m ³ (fumées de cuivre) et de 1 mg/3(poussières de cuivre)
Aluminium	Respiratoire	- <u>Pulmonaire</u> : Asthme et altérations chroniques de la fonction ventilatoire; - <u>Neurologique</u> : Altération des fonctions cognitives, souvent infra-cliniques.	Non	Non	Non	VLEP 8h admise de 10 mg/m ³
Arsenic	Digestive et respiratoire	- <u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires, cancer broncho-pulmonaire ; - <u>Dermatologique</u> : Dermate d'irritation, mélanodermie, dyskératose maligne, cancer ; - <u>Cardio-vasculaire</u> : Phénomène de Raynaud ; - <u>Neurologique</u> : Polyneuropathie ; - <u>Vésicale</u> : Cancer ; - <u>Hépatique</u> : Angiosarcome.	C1A	I	Tableau 20 (atteintes aiguës, pathologies cancéreuses)	<u>Trioxyde d'arsenic</u> : VLEP 8h admise (0,2 mg/m ³) Valeur ACGIH: 0,001 mg/m ³
Cobalt	Respiratoire (majoritaire), digestive (notable)	- <u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires, asthme, pneumopathie interstitielle, cancer broncho pulmonaire; - <u>Dermatologique</u> : Dermate de contact.	C1B M2 R1B	IIB	Tableau 70 (atteintes dermatologiques et respiratoires)	<u>Cobalt carbonyle et hydro carbonyle</u> : VLEP 8h admise (0,1 mg/m ³) Recommandation ANSES: 0,025 mg/m ³

Mercur	Respiratoire (majoritaire), digestive (notable)	<u>Dermatologique</u> : Eczéma ; <u>Neurologique</u> : Encéphalopathie avec des troubles du comportement, tremblements, atteinte des nerfs périphériques ; <u>Néphrologique</u> : Néphrite ; <u>Digestive</u> : Stomatite, diarrhées.	R1B	III	Tableau 2 (atteintes aiguës [stomatites, coliques, lésions eczématiforme] ou chroniques [ataxie cérébelleuse, néphrite, tremblement])	<u>Mercur et ses composés</u> : VLEP 8h réglementaire (0,02 mg/m3)
Nickel	Respiratoire (majoritaire), digestive (notable)	<u>-Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires (bronchite chronique), cancer broncho pulmonaire ; <u>-Dermatologique</u> : Sensibilisation cutanée (dermite) ; <u>-ORL</u> : Cancer de l'ethmoïde.	C1A	<u>Nickel</u> : I <u>Nickel métal</u> : IIB	Tableaux 37, 37 bis et 37 ter (respectivement affections cutanées, respiratoires aiguës et cancers de l'ethmoïde ou bronchiques primitifs)	<u>Nickel, sulfate de nickel et tétracarbonyl de nickel</u> : VLEP 8h admise (respectivement 1 mg/m3, 0,1 mg/m3 et 0,12 mg/m3) Proposition récente de directive de la commission européenne d'une VLEP pour le nickel et ses composés qui serait applicable à partir du 18 janvier 2025 : 0,01 mg/m3 (en Ni) pour la fraction alvéolaire et 0,05 mg/m3 (en Ni) pour la fraction inhalable Jusqu'à cette date, valeur limite de 0,1 mg/m3 (en Ni) pour la fraction inhalable (26)
<i>Autres</i>						
Poussières (inhalables et alvéolaires)	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), fibrose pulmonaire, pneumoconiose	Non	Non	Non	<u>Fraction inhalable et alvéolaire</u> : VLEP 8h contraignante (Respectivement 4 mg/m3 et 0,9 mg/m3 à compter du 1er juillet 2023)
Dioxines (62)	Digestive (par voie manuportée), respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Cancer broncho-pulmonaire ; <u>Dermatologique</u> : Acné, éruptions cutanées ; <u>Appareil reproducteur</u> : Baisse de la fertilité ; <u>Neurologique</u> : Effet neurotoxique ; <u>Hématologique</u> : Lymphomes non hodgkiniens <u>Hépatique</u> : Perturbation des marqueurs hépatiques, hépatomégalie ; <u>Endocrinologique</u> : Dysthyroïdie, diabète, altération du système immunitaire.	/	I (2,3,7,8 TCDD et PCB)	/	Absence de VLEP en France <i>Recommandation en Allemagne : 50 pg TEQ/m3 pour l'ensemble des dioxines et 10 pg/m3 pour la 2,3,7,8-TCDD (63)</i>

HAP (dont Benzo(a) Pyrène)	Respiratoire (principale), cutanée (notable)	<u>Pulmonaire</u> : Cancer broncho-pulmonaire ; <u>Dermatologique</u> : Epithélioma primitif ; Cancer du scrotum <u>Vésicale</u> : Tumeur primitive de l'épithélium primaire.	<u>B(a)P</u> : C1B, M1B, R1B	I (B(a)P)	Tableaux 16, 16 bis, 36 et 36 bis (Dermatose, affections cancéreuses)	<u>B(a)P</u> : Recommandation CNAM provisoire (<150 ng/m3)
Silice cristalline	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Bronchite chronique, altération des fonctions respiratoires, pneumoconiose, silicose, cancer broncho-pulmonaire ; <u>Immunitaire</u> : Maladie auto-immunes (polyarthrite rhumatoïde [Caplan-Colinet], sclérodémie systémique...)	Non	I	Tableau 25 (Silicose, sclérodémie systémique, cancer broncho pulmonaire,	VLEP 8h réglementaire (0,1 mg/m ³ pour la silice quartz et 0,05 mg/m ³ pour les silices cristobalite et tridymite)
COV (formaldéhyde, benzène, acrylonitrile)	Respiratoire	<u>Pulmonaire</u> : Irritation des voies respiratoires ; <u>Dermatologique</u> : Dermatite, eczéma ; <u>ORL</u> : Cancer du nasopharynx ; <u>Neurologique</u> : Troubles neuropsychiques ; <u>Hématologique</u> : Hémopathie.	<u>Benzène</u> : C1A,M1B <u>Formaldéhyde</u> : C1B, M2	I (benzène, formaldéhyde)	-Tableau 4 et 4 bis (benzène : hémopathies et affections gastro-intestinales) -Tableau 45 et 45 bis (formaldéhyde : atteintes dermatologiques aiguës, cancer du nasopharynx)	<u>Benzène</u> : VLEP 8h réglementaire (3,25 mg/m3) <u>Formaldéhyde</u> : VLEP 8h réglementaire (0,3 ppm)

I.5 Description de l'entreprise

I.5.1 Présentation de l'entreprise

L'UIOM étudiée a été mise en service en 1974. L'usine a par la suite bénéficié de travaux de modernisation en 1995 et 2005, en lien avec les évolutions législatives (diminution des émissions, surveillance des rejets...). L'installation est située dans une zone industrielle, proche d'autres sites de traitement de déchets (usine de traitement de déchets recyclables, société de récupération et de traitement de métaux, centre de valorisation de déchets végétaux...).

Le bâtiment est la propriété de la métropole dont il assure la prise en charge des déchets, mais son exploitation est déléguée à une société privée. La société qui assure l'exploitation actuelle a repris la gestion de l'usine depuis une dizaine d'années. L'entreprise emploie environ 60 salariés. La capacité de traitement annuelle de l'UIOM est de 270 000 tonnes de déchets.

En 2020, l'usine a réceptionné environ 215 000 tonnes de déchets. Ils proviennent essentiellement des communes de la métropole (70 %) mais également de communautés de communes voisines (25 %) et d'industries (5 % de DAE). Les déchets issus des communes de la métropole provenaient à 81 % des collectes d'OMR, à 14 % des déchèteries et encombrants, à 4 % des refus de tri de la collecte sélective et à 1% des services techniques des communes. Environ 50 000 tonnes de mâchefers ont été produites (et traitées à la PTM), ainsi que 5000 tonnes de REFIOM (cendres et gâteaux de filtration).

Trois lignes d'incinération (fours/chaudières/ traitement des fumées) sont actuellement fonctionnelles. Un four a une capacité de 11 tonnes/heure, et une puissance thermique de 25 MW. Chaque ligne de l'incinérateur est mise à l'arrêt de manière périodique pour le contrôle de l'installation, l'entretien des composants et la réparation des défaillances éventuelles.

La chaleur produite par les chaudières permet l'alimentation d'un réseau de vapeur industrielle (entreprises voisines) et d'un réseau de chauffage urbain (immeubles collectifs et

équipements publics). Une partie de l'énergie dégagée est aussi transformée en électricité via un groupe turbo-alternateur. Une station de traitement des eaux industrielles est également présente sur site (avant leur rejet dans le réseau d'assainissement).

I.5.2 Descriptions des postes

Les éléments détaillés ici reprennent une partie du travail de mémoire où une observation des différents postes de travail a été réalisée. Les lecteurs qui seraient intéressés par des détails complémentaires peuvent se référer à ce travail. Certains postes (chimistes, personnel gestionnaire et administratif, personnel de la plateforme mâchefer) ne seront pas détaillés car non abordés dans ce travail.

I.5.2.1 Service d'exploitation

Le service d'exploitation assure le bon fonctionnement de l'usine (fours, chaudières, filtres, circuits de chaleur...). Le placeur sera par convention inclus dans ce service, bien qu'ayant un rôle et des horaires différents. En avril 2021, sur les 24 salariés du service d'exploitation (placeur inclus), la moyenne d'âge est de 36 ans (de 24 à 57 ans). L'ancienneté moyenne dans l'entreprise est de 7 ans (de 0 à 35 ans). Le service est exclusivement masculin.

Le service est organisé en « 5*8 », c'est-à-dire cinq équipes travaillant par période de 8h sur des cycles de 10 jours. Chaque équipe travaille pendant 6 jours de suite : 2 matins de 5h à 13h, 2 après-midi de 13h à 21h, puis 2 nuits de 21h à 5h, avant de bénéficier de 4 jours de repos. Une équipe comprend généralement 5 personnes : un chef d'équipe, un responsable process, un conducteur de ligne, un pontier et un agent polyvalent. Le pontier et l'agent polyvalent peuvent être amenés à intervertir leurs rôles pendant le quart.

Le **placeur** travaille au sein du hall de déchargement. Il indique aux chauffeurs de camions-poubelles où se positionner le long de la fosse pour décharger les déchets. Il utilise une chargeuse compacte à cabine ouverte pour pousser les déchets qui se trouvent au bord de la fosse. L'après-midi, après le pic d'activité de déchargement des déchets, il nettoie

sommairement le hall avec un jet d'eau. Il travaille 7h par jour de 7h à 12h et de 13h à 15h, du lundi au vendredi.

Le **chef d'équipe** est responsable de l'équipe pendant chaque quart. Il s'assure du bon fonctionnement de l'installation, supervise et répartit les tâches à réaliser en fonction des besoins. Il est principalement présent en salle de contrôle, mais peut être amené à intervenir sur le terrain en fonction des besoins.

Le **conducteur de ligne** s'assure du bon déroulé de l'incinération des déchets en surveillant sur les écrans les différents paramètres provenant des capteurs. Il modifie certains paramètres de l'UIOM en fonction de ces éléments. Il travaille en principe uniquement en salle de contrôle, mais peut intervenir sur le terrain en cas d'urgence.

Le **pontier** saisit les déchets dans la fosse, à l'aide d'un grappin situé sur un pont roulant, et va les déposer dans les trémies d'alimentation des fours en hauteur sur le côté. Il s'assure également de l'homogénéisation des déchets en les remuant régulièrement. La partie postérieure de la fosse sert de réservoir pour stocker une partie des déchets en cas de flux entrants importants.

Le pontier peut ponctuellement être amené à travailler au niveau du pont mâchefer, situé à la sortie de l'extracteur de mâchefers. Ce poste est habituellement occupé par un salarié externe, mais qui n'est pas présent en permanence. Un grappin permet de saisir le mâchefer présent dans la fosse à mâchefers et de le déverser dans une trémie de remplissage d'un camion-benne.

Le **responsable process** et l'**agent polyvalent** vont pour leur part intervenir plus régulièrement sur le terrain. Ils réalisent des rondes de surveillance des installations (plateau de chargement, fours, chaudières, terrasses électrofiltres). Ils effectuent également des opérations de maintenance préventive, le soufflage de l'intérieur des chaudières pour éviter leur encrassement, le nettoyage du plateau de chargement... Ils interviennent aussi de manière curative pour un certain nombre d'opérations, parmi lesquelles le débouillage des trémies

d'alimentation des fours et des goulottes mâchefers ou la récupération de REFIOM en big bags lors du dysfonctionnement du système de transfert vers le silo.

Dans les faits, bien que les rôles dans l'équipe soient distincts, les agents interviennent régulièrement pour aider un autre collègue sur sa tâche. Actuellement le personnel n'intervient en principe pas pour les opérations dont l'exposition est estimée trop à risque comme le débouchage des électrofiltres, ou en espace confiné.

I.5.2.3 Équipe de maintenance

Les agents du service de maintenance assurent l'entretien et la maintenance de l'ensemble de l'UIOM (systèmes mécaniques, hydrauliques, électrotechniques...). Ils interviennent également sur l'ensemble de la ligne d'incinération pour des réparations en cas de défaillances techniques (fuites, pannes...).

Le service est constitué d'environ 15 salariés qui travaillent en horaires fixes la journée. Un chef d'équipe supervise chaque équipe. Des astreintes de nuit et de week-end sont organisées pour les interventions urgentes. En avril 2021, sur les 15 salariés du service de maintenance, la moyenne d'âge est de 38 ans (de 22 à 57 ans). L'ancienneté moyenne dans l'entreprise est de 10 ans (de 0 à 33 ans). Le service est exclusivement masculin.

I.5.3 Prévention

1.5.3.1 Outils de prévention collective

Pour diminuer l'empoussièrément dans le hall de déchargement des déchets, celui-ci est mis en dépression par des bouches d'aspiration d'air situées au-dessus de la fosse. L'air aspiré est utilisé comme apport d'air primaire dans les fours.

Au niveau de la terrasse électrofiltre, une cabine d'aspiration des poussières est installée pour permettre un dépoussièrément grossier des vêtements après intervention. Les agents doivent conserver leur masque de protection respiratoire lors du dépoussièrage, puis se débarrasser de

leur combinaison jetable. Concernant l'atelier, un système d'aspiration est intégré au poste de soudage.

Les salariés disposent de vestiaires séparés en deux parties: une partie «propre» pour les habits de ville, et une partie «sale» pour les vêtements de travail.

Une signalisation des EPI (Équipements de Protection Individuel) préconisés est réalisée par zone. Différents modes opératoires sont également réalisés et affichés concernant certaines tâches exposantes (dépotage des produits chimiques, débouchage des goulottes de mâchefers...).

I.5.3.2 Équipements de Protection Individuels

La tenue de base du personnel d'exploitation et de maintenance doit être portée lors de toute intervention. Elle comprend une veste et un pantalon de travail (propriété antistatique, protection contre la chaleur et les produits chimiques), ainsi qu'un casque avec des lunettes masques intégrées et des chaussures de sécurité. En complément, selon les activités, les équipements suivants sont disponibles : masque FFP3 (obligatoires sur les 3 zones de travail définies ci-dessous) ; casque anti bruit ou bouchon d'oreille ; gilet fluo haute visibilité (HV).

En sus de ces éléments, les combinaisons jetables suivantes sont préconisées :

- « en polypropylène ou similaire » (Catégorie III, Type 5-B et 6-B) (67), lors des opérations exposant à la poussière ou aux salissures (travaux humides et sales au sein des tours de refroidissement ou des conduits de fumées, travaux en présence de REFIOM, réparations au sein des électrofiltres...);
- spécifiques à la protection des risques chimiques en cas de manipulation de produits chimiques (Catégorie III, Type 3-B, 4-B, 5-B et 6-B) (67).

Les gants sont obligatoires pour toute intervention : en cuir pour les opérations courantes, « étanches » lors de contact avec les REFIOM, en néoprène en présence de produits chimiques, en latex pour les travaux électriques, et résistants aux hautes températures pour certaines opérations (soufflage des chaudières).

Le port d'un Appareil de Protection Respiratoire (APR) au moins FFP3 est obligatoire sur certaines zones : hall de déchargement des OM, plateau de chargement des trémies, hall fours/chaudières, terrasse électrofiltre.

D'autres APR sont préconisés suivant les activités:

- Demi masque filtrant FFP3 : manipulation de produits chimiques en vrac, déplacement ou déchargement de big bags, recharge de grenaille, travaux générant des poussières ;
- Demi masque à cartouche type ABEK P3 Hg : opérations courantes en contact avec du REFION en quantité modérée, en particulier le chargement des cendres du silo, le débouillage des électrofiltres, et la fermeture des big bags ;
- Masque complet à ventilation assistée équipée de cartouches ABEK P3 Hg : opérations à l'intérieur des électrofiltres, soudage. Pour l'utilisation de ce masque, une aptitude médicale annuelle est exigée, ainsi que la réalisation avec succès d'un fit test ;
- Masque complet équipé de cartouches type K : dépotage d'ammoniac ;
- Appareils Respiratoires Isolants (ARI) en cas d'incendie.

En dehors de ces équipements, un détecteur multigaz (hydrogène sulfuré, ammoniac, oxygène, monoxyde de carbone) est utilisé de façon sporadique lors de travaux spécifiques en espace confiné (non détaillé). Les détecteurs sont conservés par un responsable, et utilisés seulement à la demande.

I.5.3.3 Formations

Une formation « accueil sécurité » est dispensée à tout nouveau salarié pour le sensibiliser aux risques, et l'informer des équipements de protection à utiliser. Pour les interventions avec EPI spécifiques (masque à cartouche ou à ventilation assistée), une formation en interne est nécessaire. Il existe un système d'accréditation délivrée à l'issue de chaque formation, qui permet de recevoir une dotation d'EPI adaptés à l'activité. Une attestation de prise de connaissance est remise au salarié après formation. La formation au port du masque respiratoire autonome est assurée par un organisme extérieur. La liste des différents EPI

(description, mode d'utilisation, restrictions) est disponible dans un catalogue accessible depuis l'intranet de l'entreprise.

I.5.4 Préoccupations

L'entreprise a connu par le passé un certain nombre de problématiques. Certains salariés ont pu exprimer des inquiétudes vis-à-vis de l'état des installations (notamment au niveau des fours/chaudières et des électrofiltres). Des organismes préventeurs et étatiques sont intervenus sur place, notamment quant à l'exposition aux REFION (opérations de débouchage des électrofiltres, opérations de nettoyage en cas de trop-plein des big bags récupérant les REFION, certains travaux d'entretien et de maintenance). Suite à la découverte d'amiante dans certaines parties de l'usine et dans les composants des façades, l'usine a été arrêtée de manière partielle ou complète de 2015 à 2019.

II Genèse de la thèse, hypothèse de travail et objectifs

II.1 Analyse de la demande du service de santé au travail

Au cours de mon stage en service inter entreprises de novembre 2020 à avril 2021, j'ai pu suivre la médecin du travail qui s'occupe de cette entreprise lors d'une visite de réévaluation des risques en décembre 2020. Elle suit cette entreprise depuis 2017 et souhaitait pouvoir évaluer plus en détails les expositions chimiques des salariés, particulièrement aux poussières, REFION et mâchefers. Réaliser un travail sur cette thématique a semblé pertinent, avec une période d'observation des conditions de travail et des mesures de préventions mises en place, suivie d'une période d'analyse des données, puis d'une restitution. Cette action a pu être faite dans le cadre d'un premier travail de mémoire. Certaines problématiques n'ont cependant pu être traitées, notamment les campagnes de mesures atmosphériques locales et les

biométries déjà effectuées. Il nous a paru pertinent d'approfondir cette problématique par un travail de thèse, en incluant une revue de littérature pour prendre en compte les études sur ce sujet. Il a été choisi de cibler prioritairement les salariés des services d'exploitation et de maintenance qui paraissent les plus exposés. Les campagnes de mesures atmosphériques n'ont finalement pas pu être exploitées.

II.2 Hypothèse de travail

L'hypothèse de travail est la suivante :

Les salariés qui travaillent dans les équipes de maintenance et d'exploitation au sein de l'usine d'incinération d'ordures ménagères sont exposés, ou ont pu être exposés par le passé, à des substances chimiques entraînant un risque pour leur santé.

II.3 Objectifs

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les expositions chimiques recensées de certains salariés d'une usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) afin d'en déduire le risque pour leur santé.

Deux objectifs secondaires y sont associés:

- Réévaluer le protocole de suivi des salariés par le médecin du travail afin de repérer et d'anticiper les potentielles conséquences sanitaires négatives.
- Évaluer la pertinence de la mise en place d'un suivi post professionnel pour les salariés exposés et le détailler le cas échéant.

III Méthodologie

III.1 Revue de littérature

Nous avons recherché les articles en lien avec les risques chimiques identifiés chez les salariés d'UIOM par une recherche systématique sur MEDLINE à l'aide de PUBMED avec plusieurs

combinaisons de mots-clés pertinents (incineration, workers, waste incinerator, health risk, biomonitoring, occupational exposure, biomarkers, dioxins, metals, occupational medicine ...). Nous avons également recherché des articles sur le sujet dans les Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement (64), et sur le portail documentaire de l'INRS (65). Nous avons aussi effectué une recherche dans la base de données du Système Universitaire de la Documentation (SUDOC) (66), pour prendre connaissance d'éventuels travaux de thèse déjà réalisés. Nous avons pris en compte les documents pertinents mentionnés dans la bibliographie de tous les travaux relevés, ainsi que les documents déjà relevés lors du travail antérieur de mémoire sur ce sujet. Les moteurs de recherche Google ® et Google Scholar ® nous ont enfin permis de compléter notre recherche.

Au total, 164 publications ont été identifiées. Parmi celles-ci, 29 ont été exclues, car elles concernaient des incinérateurs de déchets dangereux (déchets chimiques, déchets hospitaliers...); 13 ont été exclues puisqu'elles concernaient le risque biologique (endotoxines, microbes, virus). Enfin 17 n'ont pas été retenues car leur contenu était incomplet ou déjà présenté dans un autre article.

Au final, **105 publications** ont été incluses dans notre revue de littérature. Si la quasi-totalité provient de la littérature scientifique, d'autres types de documents (rapports ministériels, documents synthétiques d'organismes préventeurs) ont également été intégrés.

Les articles ont été regroupés selon les critères suivants :

- 1) Études de morbidité et de mortalité des salariés d'UIOM et évaluation du risque pour leur santé sur la base des niveaux d'exposition
- 2) Études présentant les résultats de mesures atmosphériques effectuées dans des UIOM pour estimer l'exposition des salariés
- 3) Études détaillant la réalisation chez les salariés d'UIOM de biométries et de bilans biologiques

Certaines études abordent à la fois deux ou trois de ces critères, elles sont donc mentionnées plusieurs fois.

Chaque étude est détaillée en reprenant les paramètres suivants : référence ; type d'étude ; sujets inclus, site étudiés et localisation ; champs d'application de la recherche ou éléments recherchés ; résultats notables.

III.2 Recueil et analyse des biométries locales

Trois types de prélèvements ont pu être prescrits par le service de santé au travail pour les salariés de l'entreprise sur les dernières années:

- Plomb sanguin (Période de 2013 à 2015 puis depuis 2019),
- 1-Hydroxypyrene urinaire (Une campagne de mesure en juillet 2021)
- Cadmium urinaire (Une campagne de mesure en juillet 2021).

Il nous a semblé opportun de réaliser une étude observationnelle non randomisée mono centrique, basée uniquement sur le recueil et l'analyse rétrospectifs des données déjà existantes dans les dossiers des salariés des équipes de maintenance et d'exploitation pris en charge par le service de médecine du travail entre le 01/01/2013 et le 01/09/2022. Une demande d'autorisation préalable à la réalisation de ce travail a été déposée auprès du comité d'éthique du CHU de Strasbourg pour travailler sur ces données dans le cadre de ce travail de thèse (Étude « Chem-Expo »): Évaluation de l'exposition aux substances chimiques d'une partie des salariés travaillant au sein d'une usine d'incinération d'ordures ménagères (référence CE-2022-128). Une réponse positive a été accordée le 17 octobre 2022.

L'ensemble des dossiers des salariés (format papier et informatique) ayant travaillé dans l'entreprise entre le 1er janvier 2013 et le 1er septembre 2022 a été analysé par le service de santé au travail pour identifier les salariés pour lesquels une ou plusieurs biométries ont été réalisées.

Au total, 35 salariés ont été informés par courrier de l'utilisation de certaines données sous forme pseudonymisée. Un salarié n'a pas pu être inclus dans l'étude (courrier non distribué). Six salariés n'ont pas été pris en compte, car ils ne faisaient pas partie des équipes d'exploitation ou de maintenance. Au final, les biométries de 28 salariés masculins ont pu être recueillies (11 salariés d'exploitation, et 17 de maintenance) et soumises à pseudonymisation des données. Au total, 34 plombémies, 11 mesures de cadmium urinaire et 11 mesures de 1-OHP urinaire ont pu être exploitées.

IV Revue de littérature

IV.1 Résumé des travaux existants

Les effets sanitaires potentiels pour les salariés d'incinérateurs de déchets ont fait l'objet de plusieurs travaux depuis les années 1980 en France, mais aussi à l'international (Italie, Japon, Taïwan...). Certains travaux ont déjà tenté d'en faire la synthèse (**Annexe n° 8**).

De manière générale, les études réalisées avant les années 2000 concernent des incinérateurs plus anciens avec des technologies de filtration moins efficaces et une exposition des salariés probablement plus élevée. Sur les études plus récentes, et notamment en Europe, l'exposition semble moins importante.

Deux revues de littérature ont été récemment publiées concernant la biosurveillance des travailleurs d'incinérateurs (67) (68) (Tableau n° 5).

Tableau n° 5 : Revues de littérature déjà réalisée en lien avec la biosurveillance des travailleurs d'incinérateurs

Référence	Objet	Articles pris en compte [nombre d'articles par thème]	Synthèse
Biomonitoring of toxic metals in incinerator workers: A systematic review Mauriello et al., 2017 (67)	Revue systématique de la biosurveillance des métaux toxiques chez les travailleurs d'incinérateurs	14 articles inclus dans l'analyse 9 métaux mentionnés : Arsenic [6], Béryllium [3], Cadmium [7], Chrome [7], Manganèse [6], Mercure [8], Nickel [7], Plomb [10], Vanadium [1]	- Niveaux d'imprégnation en métaux en général faibles, avec cependant des exceptions pour le plomb et le cadmium - Existence de plusieurs facteurs de confusion (habitude alimentaire, zone d'habitation...) et de biais méthodologiques <u>Conclusion</u> : Une surveillance mixte biologique et environnementale est nécessaire ainsi que la mesure des différentes fractions granulométriques de la poussière contenant les métaux (inhalables, thoraciques, alvéolaires).
A systematic review on biomonitoring of individuals living near or working at solid waste incinerator plants Campo et al, 2019 (68)	Revue systématique de la biosurveillance pour les salariés et riverains d'incinérateurs de déchets solides	132 articles inclus dans l'analyse, dont 66 concernant les travailleurs d'incinérateurs Les biomarqueurs d'exposition les plus recherchés concernaient les PCDD, PCDF [66%], les PCB[42%], les métaux [26%], suivi des HAP[15%], POP [11%] et COV[6%]	- Une partie des études réalisées avant les années 2000 ont pu montrer des taux plus élevés de dioxines, de plomb et de HAP dans le sang et les urines des travailleurs. Les études par la suite n'ont pas montré de différences avec les taux retrouvés dans la population générale. De manière chronologique, les études prospectives sur plusieurs années ont observé une baisse des paramètres biologiques étudiés. - Limites liées à la petite taille des études, le manque d'information sur les facteurs de confusion et une mauvaise analyse statistique <u>Conclusion</u> : Aucune étude de référence n'a montré de preuve, ou avec un niveau de preuve limité, de l'impact des usines d'incinération sur les biomarqueurs d'exposition et d'effet. Au vu du nombre restreint d'articles sur un certain nombre de marqueurs (HAP, COV), des recherches supplémentaires sont néanmoins nécessaires.

Trois autres revues de littérature ont également été réalisées quant à l'impact sanitaire de l'incinération de déchets, pour les salariés et riverains d'incinérateurs (69–71) (Tableau n° 6).

Tableau n° 6 : Revues de littérature déjà réalisée en lien avec l'impact sanitaire de l'incinération de déchets (riverains et salariés)

Référence	Objet	Articles pris en compte [nombre d'articles par thème]	Conclusion
<p>The health impacts of waste incineration: a systematic review Tait et al., 2019 (70)</p>	<p>Revue systématique de la littérature en langue anglaise sur les incinérateurs de déchets et la santé en utilisant la méthodologie PRISMA (Concerne salariés et riverains)</p>	<p>93 articles inclus dans l'analyse, dont 20 concernant les travailleurs d'incinérateurs</p> <p>Les paramètres suivants sont abordés :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mesures de substances dans les fluides corporels et les cheveux [31] : dioxines et furanes [19], métaux lourds [10] et HAP [5], ainsi que fonctions et dommages cellulaires [5] -Risques cancérogènes [15] -Effets sur la reproduction [11] - Autres paramètres de santé [17] 	<p>Plusieurs effets néfastes sur la santé ont été identifiés, y compris des associations significatives avec certaines néoplasies, anomalies congénitales, décès de nourrissons et fausses couches. L'ingestion était la principale voie d'exposition pour le public. Les nouvelles technologies d'incinération peuvent réduire l'exposition.</p> <p>Malgré ces résultats, la diversité des produits chimiques, les limites de certaines méthodologies et l'incohérence des rapports sur les spécifications technologiques des incinérateurs empêchent de tirer des conclusions certaines sur les effets sanitaires.</p> <p><u>Conclusion</u> : La technologie des incinérateurs plus anciens et les programmes d'entretien peu fréquents ont été fortement liés aux effets néfastes sur la santé. Les incinérateurs plus récents ont moins d'effets néfastes signalés, peut-être parce que les effets néfastes n'ont pas eu le temps d'apparaître. Une approche de précaution est nécessaire.</p>
<p>Health effects of living near an incinerator: A systematic review of epidemiological studies, with focus on last generation plants Negri et al, 2020 (71)</p>	<p>Revue systématique des preuves épidémiologiques des effets des incinérateurs sur la santé en classant les usines en trois générations en fonction de leurs émissions en utilisant la méthodologie PRISMA (Concerne salariés et riverains)</p>	<p>63 articles inclus dans l'analyse, dont 7 concernant les travailleurs d'incinérateurs</p> <p>Les paramètres suivants sont étudiés :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mortalité/morbidité totale [10] -Cancers [27] -Maladies cardio-vasculaires [10] -Maladies respiratoires [16] -Complications de grossesse [15] -Malformations congénitales [11] -Autres problèmes [9] 	<p>Les données disponibles sur un grand nombre d'effets sanitaires dans la population générale vivant à proximité d'incinérateurs, et les quelques données disponibles sur les travailleurs, n'ont pas montré d'excès de risques consistants. Les données sur les installations plus anciennes montrent que, s'il y a eu des excès de risques, ils ont été tout au plus modestes. Les données directes sur les installations de troisième génération sont rares et ne concernent que certains effets à court terme. Ainsi, leur influence sur les maladies chroniques, et en particulier sur le cancer, reste une question ouverte notamment en raison d'un éventuel biais de latence. D'une part, les limites méthodologiques des données disponibles ne permettent pas de conclure fermement à l'absence de tout effet sanitaire des incinérateurs modernes. D'autre part, aucun signal fort et cohérent n'a émergé de la littérature disponible.</p>
<p>Health Risk Related to Waste Incineration Choi et al, 2021 (69)</p>	<p>Revue de littérature des articles récents sur les usines d'incinération et leurs effets sur la santé (Concerne salariés et riverains)</p>	<p>62 articles inclus dans l'analyse, dont 17 concernant les travailleurs d'incinérateur</p> <p>Les paramètres suivants sont abordés :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Mesures de substances dans les fluides corporels [31] : dioxines et furanes [21], métaux [7], HAP [7] et COV [1] -Risques cancérogènes [9] -Effets sur la reproduction [9] - Autres paramètres de santé [11] 	<p>Les travailleurs de l'incinérateur et les riverains peuvent être exposés aux dioxines et à certains métaux lourds. Certaines études décrivent une association avec certaines maladies (cancer des tissus mous, lymphome non hodgkinien, troubles de la reproduction, maladies respiratoires) mais les résultats ne sont pas toujours cohérents et d'autres études ne retrouvent pas d'association.</p> <p>La plupart des études incluaient des sujets exposés à des incinérateurs plus anciens et il est difficile d'appliquer ces résultats pour les incinérateurs modernes. Les maladies chroniques peuvent apparaître qu'après une exposition prolongée et il n'y a pas de preuves suffisantes pour conclure en l'existence ou non d'effets sanitaires.</p>

Bien que ces travaux récents permettent la synthèse de nombreux articles, les revues de littérature n'ont été réalisées que dans la littérature anglophone. De plus, les études s'intéressent en général aux salariés de tout type d'incinérateurs, ce qui inclut les UIOM, les incinérateurs de déchets industriels, de déchets médicaux, et de déchets dangereux.

La revue de littérature que nous avons établie a cherché à être relativement exhaustive, notamment dans le temps : aucune échéance chronologique n'a été mise en place dans les recherches. Ce travail s'interroge en effet sur la mise en place d'un éventuel suivi post-exposition pour les salariés exposés. De fait, les études plus anciennes peuvent permettre de mieux rendre compte des expositions antérieures.

Certaines études qui ne concernaient pas directement les salariés habituels d'UIOM ont également été prises en compte (opérateurs effectuant seulement le nettoyage, la rénovation, la démolition des fours d'UIOM, salariés d'une usine de traitement des mâchefers). Les salariés d'UIOM ont pu effectuer l'entretien des fours par le passé et peuvent également travailler à proximité des opérateurs effectuant aujourd'hui ces opérations. Ils peuvent aussi être amenés à intervenir sur les mâchefers.

Nous avons aussi pris en compte certains articles et documents étrangers non traduits en anglais, grâce à des outils de traduction automatique (DeepL®, Google Traduction®).

Nous avons par ailleurs tenu compte de certains rapports, qui ne peuvent être considérés comme des publications scientifiques, mais qu'il nous a semblé pertinent de prendre en compte (Rapport du NIOSH et de l'INRS, rapport ministériel quant à l'exposition des salariés des incinérateurs au Japon...).

Pour la suite de ce chapitre, nous présenterons en détails l'ensemble des études retrouvées en suivant les 3 approches suivantes :

- Études quant à la morbidité et la mortalité des salariés d'UIOM;
- Études précisant les résultats de mesures atmosphériques au sein d'UIOM;
- Études mentionnant les résultats de mesures de biosurveillance chez les salariés d'UIOM.

Les études présentées proviennent de différentes époques et de différents pays. Il est important de garder à l'esprit que les UIOM ont connu des évolutions technologiques et réglementaires importantes depuis 40 ans (amélioration des processus de combustion, automatisation des tâches, contrôle des rejets atmosphériques...). De plus, les situations et expositions peuvent varier d'un pays ou d'un continent à un autre.

IV.2 Morbidité/Mortalité

Nos recherches ont permis l'identification de 18 études sur ce thème, présentées dans l'**Annexe n°1**.

- Généralités

Deux études (72,73) retrouvent un taux de mortalité (toutes causes confondues) globalement similaire entre les salariés d'UIOM et la population générale. *Hours et al.* ne distinguent pas de différences significatives dans la plupart des symptômes généraux entre salariés d'UIOM exposés et les témoins (fatigue, insomnie, céphalée, vertiges...) (74). Kitamura et al rapportent des antécédents rapportés d'allergie et d'hyperlipidémie plus fréquents chez les salariés ayant des taux élevés de dioxines (75).

Les résultats sont détaillés pour certains systèmes :

- Système cardiovasculaire : La prévalence de l'**hypertension artérielle** (HTA) chez les salariés d'UIOM ne semble pas plus élevée que celle de la population générale (75–77). Si *Bresnitz et al* décrivent une prévalence de l'hypertension plus élevée chez les salariés d'UIOM par rapport à la population générale, elle est indépendante du niveau d'exposition et probablement en lien avec des facteurs externes (alcool, tabac, statut pondéral) (78). *Yamamoto et al* retrouve une prévalence de l'HTA semblable entre les salariés d'UIOM et la population générale, mais plus élevée chez les jeunes salariés par rapport à la population générale du même âge (77). Dans cette étude, les taux sériques des dioxines totales et de furanes des salariés d'UIOM sont significativement associés à la prévalence de l'HTA.

Néanmoins, leur taux de dioxines étant similaire à celui de la population générale, les auteurs attribuent ces différences à l'exposition environnementale aux dioxines dans les aliments et l'environnement plutôt qu'à l'exposition professionnelle.

Gustavson et al décrivent un excès non significatif de décès par **cardiopathies ischémiques** chez les salariés par rapport à la population locale, excès devenant significatif pour les salariés exposés plus de 30 ans (72). Cependant, *Rapiti et al* retrouvent un taux de décès plus faible par maladies cardiovasculaires (73).

- Système endocrinologique : *Yamamoto et al* rapportent une prévalence du diabète identique chez les salariés d'UIOM par rapport à la population générale (77). Dans cette étude, les taux sériques de PCDD, de PCDF et de dioxines totales sont significativement associés à la prévalence du diabète. Comme pour l'HTA, les auteurs attribuent ces différences à l'exposition environnementale aux dioxines plutôt qu'à l'exposition professionnelle.

- Système pulmonaire :

Bresnitz et al. ne retrouvent pas de différence significative de la fonction pulmonaire entre deux groupes de salariés d'UIOM faiblement ou fortement exposés (78). Le groupe exposé présente cependant un taux légèrement plus élevé de syndrome des petites voies aériennes (non significatif). Les auteurs rapportent par ailleurs des radiographies compatibles avec une exposition à l'amiante chez certains salariés. *Hours et al* mentionnent une diminution légère mais notable de la fonction respiratoire (en faveur d'une atteinte obstructive) des salariés les plus exposés (maintenance et traitement des effluents), avec une relation significative entre la durée d'emploi et les performances pulmonaires (74). L'étude décrit également une toux quotidienne plus fréquente pour les salariés des équipes d'exploitation et de maintenance. *Charbotel et al.* identifient certaines altérations pulmonaires légères chez les salariés d'UIOM, de type troubles obstructifs (79). Cependant, il n'y a pas d'altération notable de la fonction pulmonaire entre la première et la troisième année, ni de relations entre l'altération de la fonction pulmonaire et le niveau d'exposition. Plus récemment, *Coppeta et al.* mentionnent

une baisse légère (non significative) de l'ensemble des paramètres de la fonction pulmonaire, après une période d'exposition de cinq ans, pour les salariés à faible et à forte exposition (80). Certains paramètres sont plus fortement diminués dans le groupe à forte exposition (en faveur d'une atteinte obstructive), mais de manière non significative.

Lu et al rapportent une dégradation significative de la fonction pulmonaire chez les ouvriers spécialisés chargés de la maintenance, de l'entretien et de la démolition d'UIOM par rapport aux travailleurs habituels (atteintes supposées des bronchioles terminales) (81).

- Système dermatologique : *Schechter et al* décrit l'apparition de lésions de chloracné chez un salarié ayant été très exposé aux dioxines (82). La chloracné est une affection dermatologique rare qui ressemble à des lésions d'acné et qui peut apparaître après une forte exposition à des agents chlorés (dont les dioxines). Les autres travaux comprenant un examen dermatologique (75,77,83) ne retrouvent pas de lésions similaires. *Hours et al* mentionnent des irritations cutanéomuqueuses significativement plus fréquentes chez les salariés d'UIOM (74).

- Système reproductif : Concernant le sex-ratio de la progéniture des salariés d'UIOM, les résultats de deux études sont contradictoires. Si *Kitamura et al* retrouve un excès non significatif de la proportion d'enfant de sexe féminin chez les salariés fortement exposés (75), *Mori et al* retrouve une tendance inverse (84).

- Cancers : La mortalité tous cancers ne semble pas supérieure chez les salariés d'UIOM (72,73). Certaines études sont en faveur d'une mortalité par cancer du poumon supérieure pour les salariés d'UIOM (72,85), d'autres non (73). Une mortalité augmentée par cancer gastrique est observée par *Rapiti et al* (73) tandis que *Gustavsson et al* décrivent une augmentation de mortalité par cancer de l'œsophage en regroupant une cohorte de salariés d'UIOM avec d'autres cohortes de salariés exposés à des sous-produits de la combustion (86). Il s'agit cependant d'études portant sur des salariés d'UIOM avant les années 2000. Il n'existe pas d'études récentes sur ce sujet.

- D'autres études ont cherché à réaliser une estimation des risques sanitaires des salariés d'UIOM (cancérogènes et non cancérogènes) à partir de données biométriologiques ou atmosphériques et de modèle d'analyse des risques. Ces résultats sont moins précis puisque basés sur des mesures ponctuelles associées à des modèles d'exposition et peuvent être sujets à critiques. Ils retrouvent des niveaux de risques supérieurs aux normes attendues, notamment quant au risque cancérogène. Nous avons choisi de les présenter à titre informatif au sein de l'**Annexe n° 2**.

IV.3 Mesures atmosphériques

Nos recherches ont permis l'identification de 30 études sur ce thème, détaillées dans l'**Annexe n° 3**.

Les substances suivantes ont été recherchées [nombre d'études]: cadmium, plomb et poussières inhalables [14]; nickel [12]; chrome [11]; arsenic [8], poussières alvéolaires et silice [7]; aluminium, manganèse, zinc et dioxines [6]; cobalt, cuivre et HAP [5]; calcium, fer, magnésium et titane [4]; COV [3]; mercure et vanadium [3]; bore, béryllium, chrome hexavalent, étain, molybdène, sélénium et monoxyde de carbone [2]; antimoine, baryum, bismuth, potassium, rubidium, sodium, strontium, tungstène, zirconium, amiante, fibres, oxydes d'azote et phosphine [1].

IV.3.1 Synthèse

Au vu de la nature hétéroclite des déchets incinérés, les expositions peuvent être multiples : poussières tout au long du processus de prise en charge des déchets, fumées pendant la phase d'incinération, contact avec les REFIOM et les mâchefers... En fonction des températures de combustion, différentes substances peuvent par ailleurs être émises à partir de mêmes déchets. Les expositions sont aussi variables en fonction des multiples facteurs : tâche réalisée, matériel utilisé, zone de travail... Les expositions ont aussi évolué avec les évolutions

technologiques des UIOM. Les résultats présentés ici permettent une évaluation des expositions selon les études pratiquées depuis les années 1980.

- **Métaux**

Différentes études retrouvent des niveaux intermédiaires à élevés de **plomb** sur certaines mesures ($\approx 0,1-1 \text{ mg/m}^3$) (78,87–91), notamment au niveau des électrofiltres et lors des opérations exposant aux REFIOM. Ces études sont en général antérieures aux années 2000. D'autres études ne retrouvent pas de niveaux notables d'exposition (92–97).

Une exposition à des niveaux élevés de **cadmium** est également retrouvée sur certaines mesures dans plusieurs études ($\approx 0.01-0.1 \text{ mg/m}^3$) (78,87,88,90,91,95,98). Là encore, d'autres études ne retrouvent pas de niveaux d'exposition significatifs (92–94,96,97,99).

Des niveaux d'exposition importants au **chrome hexavalent** peuvent par ailleurs être retrouvés ($\approx 0.01-0.05 \text{ mg/m}^3$) (89,98).

Bien que les niveaux soient en général faibles, d'autres métaux sont très ponctuellement être retrouvés à des niveaux notables : **aluminium** (90,91), **arsenic** (91), **nickel** (91,98).

- Les différentes études réalisées retrouvent régulièrement des niveaux élevés de **poussières inhalables et alvéolaires** (niveaux respectifs de l'ordre de 1 à 10 mg/m^3 et de 0,1 à 1 mg/m^3) (87–89,91,92,100–102). Il s'agit en général plutôt de poussières de diamètre élevé $>5 \mu\text{m}$ (102). Les niveaux semblent plus particulièrement élevés dans certaines zones : hall de réception des déchets, trémie de déversement des déchets et lors de certaines opérations : transfert des résidus (REFIOM/ mâchefers), maintenance, nettoyage et entretien des fours/chaudières/précipitateur électrostatique. Les poussières inhalables peuvent ponctuellement atteindre des niveaux très élevés ($> 100 \text{ mg/m}^3$) lors de certaines opérations (vidange du silo de REFIOM, nettoyage des fours et des électrofiltres). Le bruit de fond au sein de la salle de contrôle est relativement faible ($<0,5 \text{ mg/m}^3$) (101). Selon une

modélisation des expositions aux poussières inhalables réalisée dans une autre étude (103), si les niveaux d'exposition sont faibles en routine dans une UIOM moderne, ils seront plus importants lors des opérations de maintenance, notamment en cas d'utilisation d'air comprimé. Les niveaux pourraient être momentanément très élevés (de 50 à 1000 mg/m³) lors de certaines opérations de nettoyage et d'entretien en espace confiné ou en cas de bourrage au sein du processus.

- Pour les **dioxines**, il n'existe pas de VLEP en France actuellement. En Allemagne, il existe une valeur repère de **50 pg I-TEQ/m³** (Concentration technique de référence pour les travailleurs : TRK [Technische Richtkonzentrationen], équivalente à une VLEP réglementaire jusqu'à 2005). Bien que n'ayant plus de valeur contraignante, cette valeur reste mentionnée à titre indicatif dans le guide allemand des substances dangereuses sur le lieu de travail de 2021 (104). On peut toutefois s'interroger sur ce seuil qui correspond en pratique à 50% de la valeur limite légale d'émission de dioxines par les incinérateurs (100 pg I-TEQ / Nm³ de gaz sortant des cheminées de l'incinérateur). L'OEHHA (California Office of Environmental Health Hazard Assessment) propose un niveau d'exposition de référence (REL=Reference Exposure Level) de 40 pg TEQ/m³. La Fondation allemande pour la recherche (Deutsche Forschungsgemeinschaft) propose également une VLEP de 10 pg/m³ pour la dioxine 2,3,7,8-TCDD (Dioxine de Seveso) sans qu'il soit démontré que cette concentration présente un risque pour la santé (105).

Pour la population générale, le Japon a fixé la moyenne annuelle tolérable en air ambiant (norme de qualité environnementale) à un maximum à **0.6 pg TEQ/m³**(106), et l'Ontario à **0.1 pg TEQ/m³** (critère de qualité de l'air ambiant) (107). En France, l'association ATMO Auvergne Rhône Alpes propose une valeur repère en air ambiant de 100 fg I-TEQ/m³ sur une semaine (soit **0,1 pg I-TEQ/m³**), ou de 40 fg I-TEQ/m³ sur une année(33). Des mesures

réalisées entre 2004 et 2017 retrouvent des niveaux médians de dioxines relativement similaires à proximité d'incinérateurs et de sites industriels, en milieu urbain et en milieu rural (de l'ordre de 25 fg I-TEQ/m³)(33). Il existe cependant une forte variabilité des maxima, notamment dans les zones urbaines et à proximité des zones d'incinération, pouvant aller jusqu'à respectivement 3,41 et 1,14 pg I-TEQ/m³.

Sur une durée de travail de 8h, le volume respiré sera d'environ 10 à 14 m³, selon l'intensité physique de l'activité (9). Le pourcentage d'absorption des dioxines par voie respiratoire n'est pas connu chez l'homme (62,108). En supposant: 1-Une absorption complète des dioxines inspirées; 2-L'absence d'EPI efficaces; 3-Un volume respiré de 10 m³ sur 8h; 4-Une exposition à une concentration moyenne de dioxines de 50 pg I-TEQ/m³; alors une absorption jusqu'à 500 pg I-TEQ/jour pourrait se produire. Pour un homme de 80 kg, cela correspondrait à 6,25 pg TEQ/kg. À cela s'ajoute la charge en l'ingestion quotidienne de dioxines par voie alimentaire, qui représente habituellement la voie d'absorption principale (environ 1,5 pg TEQ/kg et jour pour la population générale). L'absorption de dioxines pourrait alors être supérieure aux recommandations de l'OMS qui a fixé la dose journalière tolérable (DJT) à 4 pg TEQ par kg de poids corporel et par jour. Pour un taux de dioxine **inférieur à 5 pg/m³** sur 8h, le niveau d'absorption par inhalation devrait être inférieur à 0,625 pg TEQ/kg.

Des niveaux élevés de dioxines sont retrouvés sur des études réalisées dans les années 1990 lors des opérations de nettoyage et d'entretien des fours, chaudières, conduits de fumée et électrofiltres (78,91,109) (taux entre 10 et 23 800 pg I-TEQ/m³) . Un niveau faible à intermédiaire (0,1 - 27 pg I-TEQ/m³) peut être retrouvé dans la zone de chargement des REFIOM et à proximité des fours/chaudières (109). Les niveaux semblent être plus faibles

(<1 pg/m³) dans les autres zones des UIOM (78,109). Après les années 2000, les études retrouvent des niveaux de dioxines plus faibles (en général inférieurs à 5 pg I-TEQ/m³) (110–114).

- Les niveaux de **HAP** paraissent relativement faibles en phase de fonctionnement normal (95,115). Ils peuvent être plus élevés lors des arrêts de fours (116), et lors des opérations de nettoyage des fours (100), avec des niveaux ponctuellement plus importants de B(a)P. Les opérateurs spécialisés dans la maintenance des fours peuvent ainsi être exposés à des concentrations atmosphériques plus importantes; une contamination par voie cutanée peut aussi être retrouvée (117).
- Des niveaux élevés de **silice cristalline** sont ponctuellement retrouvés, particulièrement lors du nettoyage du précipitateur électrostatique (88,91) ou pour les opérateurs de chaudières (88). La plupart des études ne retrouvent cependant pas d'exposition à la silice chez les opérateurs habituels (78,81,89,91,93). Des concentrations particulièrement élevées sont relevées (81,118) chez les opérateurs spécialisés qui effectuent le nettoyage et la rénovation des fours en période de maintenance.
- La présence d'**amiante** est mentionnée dans une étude dans 2 prélèvements atmosphériques (zone chaudière et poste de conducteur de chaudière) (89). Les fibres qui n'ont pu être quantifiées provenaient à priori de l'isolation de l'usine en mauvais état. *Tolvanen et al* retrouvent cependant des niveaux très faibles de fibres dans l'atmosphère (101).
- Les niveaux de **COV** mesurés lors des différentes études semblent globalement faibles (95,96,119). Ils sont principalement retrouvés au niveau de la fosse de réception des déchets (95,119). *Cheng et al* retrouvent un taux élevé de chlorure de vinyle sur un prélèvement (119).
- *Eriksson et al* mentionnent des niveaux notables de **phosphine** sur certaines zones (96).

- Des niveaux remarquables de **monoxyde de carbone** peuvent parfois être observés à proximité des trémies d'alimentation des fours (120).

Lors de certaines études, des **prélèvements surfaciques** ont été réalisés (78,89,91). Des dioxines et des métaux (aluminium, cadmium, chrome, cuivre, fer, nickel, plomb, zinc...) ont été retrouvés sur plusieurs prélèvements, notamment au niveau de commandes d'un engin de chantiers, mais aussi sur un plateau de la salle de restauration, un banc de vestiaires. Certains prélèvements directement sur les mains des salariés retrouvaient aussi la présence de métaux (spécialement pour les salariés ne s'étant pas lavés les mains auparavant). Ces études concluent à une possible contamination par ingestion.

IV.3.2 État des lieux récent des expositions en France

Dans un premier travail de mémoire réalisé sur ce sujet, certaines substances ont déjà pu être identifiées et présentées dans un tableau récapitulatif à partir de différentes sources de référence en France (121). Les données les plus précises et pertinentes proviennent de la brochure « Installations de traitement thermique des déchets non dangereux et DASRI. Risques chimiques et biologiques », publiée par l'INRS en 2015 (6). Cette brochure synthétise les résultats d'un ensemble de campagnes de mesure effectuées dans différents centres de traitement thermique des déchets non dangereux (environ 5200 mesures réalisées à l'occasion de 13 campagnes de mesures dans cinq UIOM). L'approche est établie par Groupe d'Exposition Homogène (GEH) et par zone d'intérêt, en phase d'exploitation normale et d'arrêt technique. Un Niveau Moyen d'Exposition (NME) est indiqué pour différentes substances. Il correspond au rapport des concentrations moyennes retrouvées lors des différentes mesures atmosphériques référencées, comparées à la VLEP (exprimé en pourcentage). Il ne tient pas compte des éventuels facteurs d'atténuation liés au port des EPI.

- **Expositions pendant la phase de fonctionnement normal**

Les résultats sont détaillés dans la Figure n° 10.

-Pour le personnel d'exploitation, des niveaux d'exposition significatifs peuvent être retrouvés pour les substances suivantes : **chrome hexavalent, poussières inhalables, aérosols d'oxyde de calcium.**

-Pour le personnel de maintenance, des niveaux d'exposition notables peuvent être retrouvés pour les substances suivantes : **poussières inhalables, chrome hexavalent, poussières alvéolaires, aérosols d'oxyde de calcium, fer, plomb.**

« En fonctionnement normal des sites, les agents les plus exposés sont le personnel de maintenance ou d'entretien. [...] En effet, ce personnel intervient dans toutes les zones de l'usine pour différents travaux sur des équipements souvent très poussiéreux. La réparation ou le nettoyage de l'équipement peuvent remettre en suspension des poussières et des aérosols métalliques ou en générer par l'utilisation d'appareil électroportatif (meuleuse, burineur...) ou de poste à souder. Le personnel d'exploitation est lui beaucoup moins exposé car il réalise la conduite du procédé majoritairement depuis une salle de contrôle. Toutefois, l'agent en charge des rondes de supervision au niveau des installations peut être exposé lors des interventions de décolmatage (trémie, convoyeur, extracteur à mâchefers...)» (122).

-Le hall de déchargement (quai et trémies confondues) est une zone avec des niveaux d'exposition élevés pour certaines substances: **poussières inhalables et alvéolaires, aérosols de calcium, cuivre et chrome hexavalent.**

-Dans la zone fours, des niveaux d'exposition élevés au **B(a)P** peuvent être retrouvés.

Le niveau des autres substances (métaux, COV, HAP, silice, fibres céramiques et amiante...) est faible. Le niveau de dioxines n'est pas détaillé dans le tableau. En mesure sur point fixe, il est décrit comme « dans la gamme moyenne à haute des valeurs recensées à proximité d'une source d'émission ». Il est plus élevé au niveau de la zone de traitement des fumées et autour des fours (0,2-0,72 pg I-TEQ/m³) que dans le hall de déchargement et la salle de contrôle (0.06-0.41 pg I-TEQ/m³).

Figure n° 10 : Niveaux moyens d'exposition atmosphériques mesurés lors de différentes campagnes de prélèvement dans différentes UIOM en France

Source : INRS - Installations de traitement thermique des déchets non dangereux et DASRI - Risques chimiques et biologiques - ED 6222 (9)

Niveau moyen d'exposition (NME) par rapport à la VLEP considérée pour les composés chimiques :

		NME < 10 %	10 % ≤ NME < 50 %	50 % ≤ NME < 100 %	NME ≥ 100 %	Pas d'information
FONCTIONNEMENT NORMAL	Poussières inhalables					
	Poussières alvéolaires					
	Aluminium					
	Antimoine					
	Arsenic					
	Cadmium					
	Calcium					
	Chrome					
	Cobalt					
	Cuivre					
	Feu					
	Manganèse					
	Nickel					
	Plomb					
	Titane					
	Vanadium					
	Zinc					
	Chrome hexavalent					
	Benzo(a)pyrène					
	Acides minéraux					
	Ammoniac					
	Formaldéhyde					
	Acétylaldéhyde					
	COV					
	Benzène					
	Fibres céramiques et amiantes					
	Monoxyde de carbone					
GEN						
1.	Personnel d'exploitation					
2 a.	Personnel de maintenance					
2 b.	Personnel d'entretien					
3.	Personnel DASRI et fibres					
4.	Personnel spécifique					
5.	Personnel administratif					
ZONES D'INTÉRÊT						
I a.	Hall de déchargement - Quai					
I b.	Hall de déchargement - Trémie					
II.	Zone fours					
III.	Zone chaudières					
IV.	Mâchefers					
V.	Traitement des fumées					
VI.	REHOM et cendres					
VII.	Zone DASRI					
IX.	Locaux annexes					
X.	Installation de traitement des mâchefers					

- Expositions pendant la phase d'arrêt technique

Nous ne détaillerons pas l'ensemble des niveaux d'expositions retrouvés, mais les résultats peuvent être retrouvés dans l'**Annexe n° 4**. Les NME sont beaucoup plus importants sur l'ensemble de l'UIOM, notamment pour les **poussières inhalables et alvéolaires**, les **aérosols de calcium**, le **plomb** et le **chrome hexavalent**, avec des dépassements possibles de VLEP.

L'exposition est également augmentée sur certaines zones ou tâches pour d'autres substances : **aluminium, cadmium, cuivre, fer, vanadium, zinc** (et de façon plus ponctuelle: antimoine, manganèse, titane, B(a)P). Le niveau de **dioxines** est légèrement plus élevé (0,18- 1,64 pg I-TEQ/m3).

Les expositions sont «localisées principalement au niveau du four (opération de piquage du réfractaire, nettoyage de la grille et démontage des gradins), de la chaudière (opération de remplacement des tubes d'échange thermique, nettoyage des différents parcours de la chaudière) ainsi que la partie traitement des fumées avec les entretiens des réacteurs/atomiseurs (piquage et évacuation des gravats) et les opérations liées au nettoyage des parties sales des filtres à manches et des électrofiltres» (122).

Les mesures atmosphériques permettent l'identification des sources principales d'émission de polluants. Cependant, elles ne permettent pas d'évaluer le niveau d'absorption des substances.

Ce dernier sera mieux pris en compte par les biométries.

IV.4 Marqueurs biométrologiques et biologiques

Nos recherches ont permis l'identification de 77 études sur ce thème, détaillées dans l'**Annexe n° 5**.

Les substances suivantes (ou leurs métabolites) ont été recherchées [nombre d'études]: dioxines [33]; plomb [14]; cadmium [11]; HAP [10], arsenic [8]; chrome et mercure [7]; nickel [4]; manganèse et zinc [3]; cuivre, COV et PBDE [2]; antimoine, béryllium, cobalt,

étain, fer, iridium, magnésium, palladium, platine, rhodium, sélénium, thallium, vanadium, aflatoxine B1, bisphénols, chlorophénols, esters organophosphorés et phtalates [1].

IV.4.1 Dioxines

Certaines études (75,82,83,123–126) retrouvent un niveau de dioxines sérique plus élevé pour les salariés d'UIOM par rapport à la population générale ou à des groupes témoins. Ces études ont principalement été réalisées au Japon sur des analyses biologiques datant des années 2000. Elles concernent en particulier un incinérateur d'ancienne génération fermé suite à la découverte d'une contamination aux dioxines très importante dans l'environnement. Des taux très élevés ont pu être retrouvés chez certains salariés engendrant un cas de chloracné (82). Le taux de dioxines diminue progressivement après arrêt de l'exposition (83,124). Une similarité du profil des congénères des dioxines présentes dans le sang des salariés, et dans les résidus d'UIOM est décrite dans ces études (75,123,124).

Cependant, le niveau de dioxines sérique des salariés d'UIOM est proche de celui de la population générale dans la plupart des études, en particulier les plus récentes (77,110,127–140). Quelques études retrouvent même des taux de dioxines plus faibles que dans des populations moins exposées (102,141–143). L'exposition aux dioxines semble ainsi moins importante dans les UIOM modernes. Toutefois, les auteurs mentionnent également des similarités dans les profils de dioxines retrouvées dans les échantillons sanguins des salariés et dans les résidus d'incinération, ou des niveaux plus élevés de certains congénères. Une absorption de certaines dioxines pourrait ainsi avoir lieu lors de l'activité professionnelle (77,110,127–130,132,133,135,137).

La majorité des études réalisées ne font pas de distinction entre les différentes catégories de travailleurs au sein des UIOM. Certaines études retrouvent néanmoins un taux de dioxines plus élevé pour des travailleurs plus exposés aux résidus (ouvriers de maintenance en particulier). Le niveau de dioxines peut être plus élevé lors de l'exécution de certaines tâches, comme les opérations de maintenance annuelle (102), ou pendant le nettoyage des fours et des

systèmes de traitement des fumées (électrofiltres, épurateurs humides...) (75,83,124,127,128).

Un lien entre le taux de dioxines et la durée de l'emploi est mentionné par quelques études (83,125,132) mais ne semble pas établi pour d'autres (110,143).

Certaines études se sont intéressées à l'évaluation du taux de dioxines dans les **cheveux** de salariés d'UIOM (144–146). Le profil des congénères des dioxines a des similarités avec celui des dioxines retrouvées dans les fumées et résidus présents et le niveau de dioxines total est plus élevé que celui de la population témoin. Le niveau paraît plus élevé pour les professionnels les plus exposés. Ces résultats doivent cependant être interprétés avec prudence, en raison de la contamination externe des cheveux par les fumées et les poussières lors des activités professionnelles.

Quelques études se sont intéressées aux travailleurs spécialisés qui réalisent principalement des travaux de maintenance et d'entretien des fours de différentes UIOM. Deux études sur trois retrouvent une augmentation du niveau moyen de dioxines totales après exposition (147–149), même s'il reste proche de celui de la population générale (147,148). L'absence du port de protection peut être associée à un niveau plus élevé de dioxines (147), tout comme un niveau plus important de contact avec les REFIOM (149). Le niveau de dioxines augmente globalement avec l'ancienneté dans le travail (147,149) bien que le manque d'expérience préalable dans ce domaine puisse aussi influencer péjorativement le taux de dioxines. Les travailleurs effectuant la démolition d'anciennes UIOM où existait une pollution aux dioxines ont pu être fortement contaminés par les dioxines lors des travaux (150). Ce résultat n'est pas retrouvé sur une seconde étude (83).

En résumé, il semble que les travailleurs d'UIOM modernes en Europe présentent des concentrations sériques de dioxines proches de celles de la population en général. Il est possible que les travailleurs régulièrement impliqués dans les opérations de nettoyage et d'entretien aient des niveaux de dioxine légèrement plus élevés que la population générale. Les travailleurs ayant été employés sur des périodes prolongées dans des incinérateurs plus

anciens pourraient avoir présenté des niveaux de dioxines sériques plus élevés par le passé. Leurs niveaux actuels sont probablement nettement inférieurs en raison de la métabolisation et de l'élimination progressive des dioxines.

IV.4.2 Métaux

- **Plomb** : Les résultats sont variables. Certaines études retrouvent des plombémies plus élevées chez les travailleurs d'UIOM que chez les témoins (74,151–153), ou élevées pour certains salariés (99). Quelques salariés ont pu présenter par le passé des plombémies supérieures à la Valeur Limite Biologique (VLB) française de 400 µg/l (151,153). Les valeurs retrouvées sont cependant dans la majorité des cas dans la fourchette des valeurs de la population générale. La plupart des études retrouvent un niveau de plomb similaire à celui de la population générale. (76,78,90,94,97,131,154–156).

Les agents de nettoyage et de maintenance semblent avoir des plombémies plus élevées (74,90). Les résultats concernant l'existence d'une corrélation avec la durée de l'emploi sont contradictoires (74,76).

Les niveaux de ProtoPorphyrine-Zinc (PPZ, marqueur d'effet représentatif de l'exposition au plomb sur les derniers mois) sont généralement faibles (78,99,152).

- **Cadmium**: La majorité des études retrouvent des niveaux de cadmium sanguin ou urinaire faibles (78,90,95,97,99,131,154,156). Certaines études retrouvent des niveaux de cadmium plus élevés pour les salariés d'UIOM par rapport à des populations témoins (95,151), ou des dépassements des Valeurs Biologiques d'Interprétation (VBI) professionnelles chez certains salariés (94). Deux études retrouvent une cadmiémie plus élevée chez les salariés plus exposés (nettoyage, maintenance) par rapport aux salariés moins exposés (76,90). Les niveaux de Bêta-2-Microglobuline urinaire (β2-M [u], marqueur d'effet précoce utilisé pour le dépistage de tubulopathie chez les salariés exposé au cadmium), ne sont pas augmentés (99).

- **Arsenic** : La plupart des études décrivent des taux d'arsenic relativement faibles (78,90,97,157) . Certaines études retrouvent cependant des taux plus élevés d'arsenic que dans des populations témoins (95,155,156). *Chao et al* retrouvent des dépassements des valeurs limites biologiques urinaires et sanguines plus fréquentes chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins (155). Un niveau d'arsenic plus important pour les salariés plus exposés est parfois décrit (76,78). *Chao et al* retrouvent une tendance inverse, mais l'expliquent par l'efficacité du port des EPI que seuls les salariés plus exposés portent dans l'installation (155).
- **Chrome** : La plupart des études décrivent des taux de chrome urinaires relativement faibles (90,95,97,131,157). Quelques études retrouvent des taux de chrome plus élevés par rapport à des populations témoins (95) (salariés d'une des deux UIOM plus ancienne) (156), ou des dépassements des VBI chez certains salariés (94).
- **Manganèse** : La plupart des études rapportent des taux de manganèse urinaire faibles (95,97,157). *Yang et al* mentionnent des niveaux plus élevés par rapport à la population témoin (156).
- **Mercure**: Les études mentionnent des taux de mercure faibles (78,90,97,131,154,156,158). *Deng et al* mentionnent des niveaux plus élevés par rapport à la population témoin (158).
- **Fer, Sélénium** : Une étude retrouve des taux urinaires de fer et de sélénium plus élevés chez les salariés d'UIOM par rapport au groupe témoin (156).
- **Pour les autres métaux** (antimoine, béryllium, cobalt, cuivre, étain, iridium, magnésium, nickel, palladium, platine, rhodium, thallium, vanadium, zinc), les taux retrouvés sont faibles (78,90,94,95,97,131,151,154,156–158).
- Pour les travailleurs spécialisés d'une usine de traitement de mâchefers issus d'UIOM, une étude retrouve des taux de cadmium et de chrome élevés (159).

IV.4.3 Hydrocarbures aromatiques polycycliques

La plupart des études retrouvent des niveaux faibles de 1-Hydroxypyrene urinaire (1-OHP[u], métabolite du Pyrène) (95,100,115,119,160,161). Les niveaux de 1-OHP[u] ne semblent pas augmenter entre le début et la fin du poste de travail (95,100,162,163). Cependant, les taux de 1-OHP sont parfois supérieurs à ceux des populations témoin (160,163,164).

Les niveaux urinaires d'autres métabolites des HAP sont supérieurs à la population générale sur certaines études, comme le 2-Naphtol (2-NP, métabolite du Naphtalène) et le 3-HydroxyBenzo(a)Pyrène (3-OHBaP, métabolite du Benzo(a)Pyrène) (161,163,164) . Deux études décrivent une augmentation de ces marqueurs entre le début et la fin du poste de travail (162,163).

Les niveaux urinaires de certains métabolites du phénanthrène peuvent être plus élevés que la population témoin ((1+4+9)-Hydroxyphénanthrène) (161).

Les marqueurs d'exposition aux HAP peuvent varier en fonction du type d'incinérateur (162), et augmenter lors d'arrêt des fours (115). Le port d'équipement de protection semble réduire le taux de HAP (161,163), tandis que le tabagisme est associé à une augmentation des taux de HAP sur la plupart des études.

Concernant les salariés spécialisés effectuant des travaux de maintenance des fours, le taux de 1-OHP paraît plus élevé chez ces salariés que chez les travailleurs habituels, bien que restant à des valeurs acceptables (119). Une augmentation des concentrations de 1-OHP[u] peut être observée, principalement lors des premières phases de nettoyage des fours (117,119).

IV.4.4 Autres

- Concernant les **Composés Organiques Volatils (COV)**, seules deux études relatives au dosage de leurs biomarqueurs ont été retrouvées (95,160). Elles ne retrouvent pas d'augmentation de concentration chez les salariés d'UIOM par rapport aux groupes témoins.
- Deux études font état de taux légèrement plus élevés de **Poly-Bromo-Di-Phényl-Ethers** (PBDE, composés utilisés comme additif retardateur de flamme) chez les salariés d'UIOM (141,165).
- Selon *Angerer et al*, certains types de **chlorophénol** (synthétisés par l'industrie chimique comme agents antimicrobiens) peuvent être plus élevés chez les salariés d'UIOM par rapport à la population témoin (d'autres types sont diminués). Les valeurs restent cependant à un niveau faible (160).
- *Lu et al* décrivent chez les salariés d'UIOM des niveaux de **bisphénols** similaires à la population témoin, mais des niveaux plus élevés de métabolites de **phtalates** (166).
- *Viegas et al* retrouvent des niveaux plus élevés d'**Aflatoxine B1** (toxine génotoxique et carcinogène produit par certains champignons) (167),
- *Wu et al.* décrivent des concentrations augmentées de certains métabolites d'**esters organophosphorés** (utilisés comme retardateurs de flamme ou plastifiants) (168).

IV.4.5 Marqueurs d'effets biologiques

La plupart des études ne semblent pas retrouver d'altérations significatives des marqueurs biologiques standards chez les salariés d'UIOM (74–78,83,151), que ce soit au niveau hématologique, lipidique, hépatique, rénal ou hormonal. Une étude rapporte une augmentation de certains marqueurs (acide urique, globuline, bilirubine totale) chez les salariés plus exposés (76). *Bresnitz et al* rapportent une plus forte prévalence de protéinurie chez les salariés

d'UIOM, mais indépendamment du niveau d'exposition et probablement causée par des facteurs de confusion (78).

Des corrélations sont parfois retrouvées entre le niveau de dioxines et certains paramètres biologiques (75,77,110,137), mais les résultats ne sont pas constants (83). *Hu et al* décrivent par ailleurs une corrélation entre certains marqueurs biologiques et le niveau de cadmium (76).

Sur le plan immunitaire, *Hours et al* mentionnent une légère augmentation du nombre de globules blancs dans le sang des salariés d'une UIOM comparé au groupe contrôle (74). *Oh et al* décrivent également des modifications de certains paramètres immunitaires (169). *Kitamura et al.* rapportent certaines corrélations entre le niveau de dioxines et certains paramètres immunitaires (activité des cellules tueuses naturelles, réponse à la stimulation par PHA) (75) mais ce résultat n'est pas retrouvé par *Yamamoto et al* (77). D'autres études n'identifient pas d'altérations du système immunitaire (76,83).

Des **altérations des spermatozoïdes** (nombre, mobilité, atteintes génotoxiques) sont rapportées par *Oh et al* (169).

Scarlett et al retrouvent une augmentation significative du **niveau de mutagénicité des urines** chez les salariés d'une UIOM par rapport à un groupe témoin (170). Ce résultat n'est néanmoins que partiellement identifié par *Ma et al* (171), et non retrouvé par *Yoshida et al* (172).

Plusieurs études se sont intéressées au **niveau d'expression génétique de certains cytochromes** (173–175). Le niveau d'expression semble varier chez certains salariés en fonction des concentrations de dioxines (173) et de l'exposition (174). Le niveau d'expression génétique des cytochromes pourrait faire varier le taux de cholestérol (175).

Kang et al décrivent par ailleurs des modifications du **métabolisme cellulaire** chez les salariés d'UIOM, qu'ils relient à l'exposition aux PCDD (176).

Certaines études ont cherché à évaluer le niveau des marqueurs de **stress et de dommage oxydatif** chez les salariés d'UIOM. Deux études retrouvent un niveau comparable à un groupe témoin (134,177), même s'il semble augmenter avec la durée de l'emploi pour les salariés exposés aux REFIOM (177). À l'inverse, plusieurs études asiatiques récentes retrouvent des niveaux plus élevés par rapport aux témoins (156,161,163,168), en hausse après une semaine de travail(163). Les gènes et protéines impliqués dans le stress oxydatif peuvent être augmentés chez les salariés d'UIOM (178). L'existence d'une corrélation entre le niveau de dommages oxydatifs et le niveau de polluants n'est pas forcément retrouvée, que ce soit pour les dioxines (172), pour les métaux lourds (156) ou pour les esters organophosphorés (168). Les résultats pour les HAP ne sont pas concordants (161,163).

Certaines études retrouvent des **atteintes génotoxiques** plus importantes chez les salariés d'une UIOM en Corée (164,169,178). Ces résultats ne sont pas retrouvés sur une autre étude (157).

Concernant les **travailleurs spécialisés effectuant la maintenance des UIOM**, deux études retrouvent des modifications de plusieurs marqueurs biologiques avant et après opérations (147,148). Les résultats ne sont cependant pas homogènes. Des atteintes génotoxiques et oxydatives sont également retrouvées à un niveau plus élevé pour les **travailleurs spécialisés d'une usine de traitement de REFIOM** par rapport à des travailleurs d'un centre de traitement de mâchefers (179,180).

V Campagnes de biométries locales

V.1 Plombémie

Selon la base de données Biotox de l'INRS, « la plombémie est le meilleur indicateur d'exposition au plomb des semaines précédentes, lorsque l'exposition est stable. La relation

plomb sanguin et concentration en plomb atmosphérique est linéaire [...]. La plombémie est une mesure ponctuelle témoignant de l'exposition récente ; elle ne mesure pas la charge en plomb de l'organisme [...]. À distance de tout contact avec le plomb, elle sous-estime le pool de plomb ; dans les jours qui suivent une contamination massive, elle le surévalue. Elle s'élève dès le début de l'exposition (J1), elle varie en fonction des pics d'exposition pour atteindre un état d'équilibre trois mois après le début de l'exposition (quand cette dernière est stable) » (26).

Le prélèvement peut se faire sur un moment indifférent par rapport au temps de travail, à condition que la peau soit bien lavée et non contaminée (de préférence en dehors du lieu de travail, et avant le début de poste).

Au niveau européen, l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) propose même une valeur limite de **150 µg/L**. En France, une valeur limite réglementaire est fixée à **400 µg/L** de sang pour les hommes et **300 µg/L** de sang pour les femmes (Article R. 4412-152 du code du travail).

L'ANSES a cependant émis en 2019 la recommandation (181) d'une valeur limite de **180 µg/L** en milieu professionnel (basée sur la relation avec les effets neurocomportementaux), ainsi que d'une valeur biologique de référence de **85**, **60** et **45 µg/L** pour respectivement les hommes, les femmes et les femmes susceptibles de procréer. Selon l'étude Esteban (182) qui s'intéresse à la population générale française, la plombémie moyenne des hommes de plus de 18 ans était de **22,40 µg/L** sur la période 2014-2016. Cette même étude propose une Valeur de Référence d'Exposition (VRE), au-delà de laquelle on peut vraisemblablement considérer l'imprégnation comme anormalement élevée, et qui est calculée à partir d'un arrondi du quatre-vingt-quinzième centile (95% des sujets ont une plombémie inférieure à cette valeur). La VRE est de **40 µg/L** pour les hommes de 18 à 44 ans, et de **65 µg/L** pour les hommes de 45 à 74 ans.

Dans notre étude, 34 plombémies ont pu être exploitées, provenant de 26 salariés différents (11 de l'équipe d'exploitation, 15 de l'équipe de maintenance ; moyenne d'âge de 42 ans, ancienneté moyenne dans l'entreprise de 14 ans). Quatorze mesures ont été réalisées sur la période 2013-2015, et vingt sur la période 2019-2022. Les résultats sont présentés dans le Tableau n° 10.

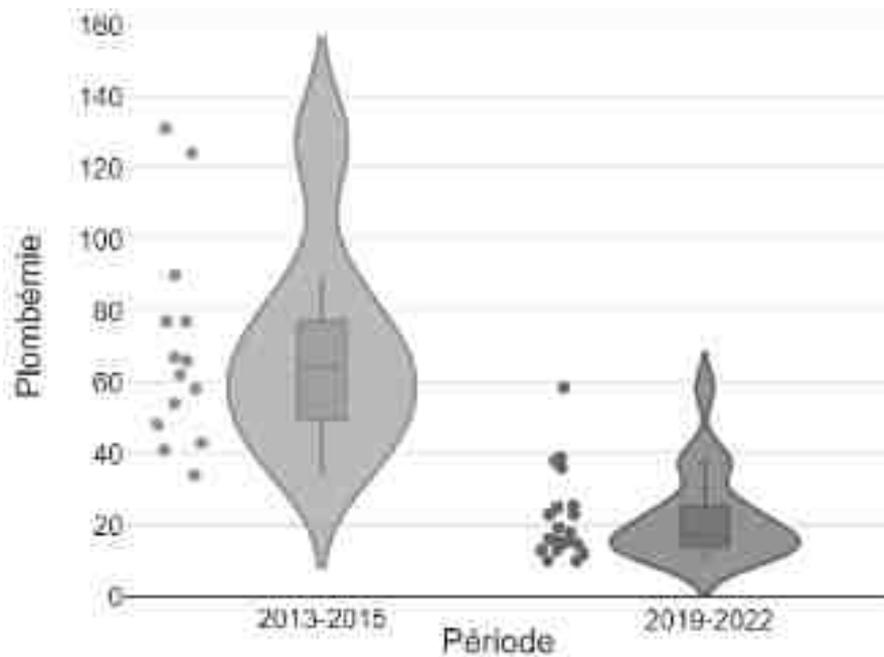
Tableau n° 7 : Niveau de plombémie des salariés (exprimé en µg/L)

	Nombre de mesures	Plombémie médiane (Min-Max)	Âge (moyenne ± écart-type)	Ancienneté (moyenne ± écart-type)	Tabagisme actif (n (%))
Ensemble	34	35,00 (10-131)	42 ± 11	13 ± 12	12 (35 %)
Ensemble - Période 2013-2015	14	64,05 (34-131)	47 ± 9	20 ± 8	8 (57 %)
Ensemble - Période 2019-2022	20	16,95 (10-58,5)	39 ± 12	9 ± 13	4 (20 %)
Maintenance - Période 2013-2015	10	64,05 (41-131)	48 ± 6	22 ± 7	4 (40 %)
Maintenance - Période 2019-2022	10	16,95 (12,9-58,5)	42 ± 13	11 ± 14	1 (10 %)
Exploitation - Période 2013-2015	4	67,50 (34-124)	43 ± 13	13 ± 8	4 (100 %)
Exploitation - Période 2019-2022	10	18,80 (10-38)	35 ± 12	9 ± 12	3 (30 %)
Fumeurs - Période 2013-2015	8	64,05 (34- 131)	46 ± 11	18 ± 10	8 (100 %)
Fumeurs - Période 2019-2022	4	21,12 (13-25)	39 ± 15	16 ± 13	4 (100 %)
Non-Fumeurs - Période 2013-2015	6	60,50 (41-90)	40 ± 6	18 ± 6	0 (0 %)
Non-fumeurs - Période 2019-2022	16	15,95 (10-58,5)	35 ± 12	6 ± 13	0 (0 %)

La plombémie médiane est de **35,00 µg/L**. Les niveaux individuels sont en général faibles et inférieurs à 100 µg/L, sauf pour un salarié de maintenance et un salarié d'exploitation qui présentaient des plombémies respectives de 131 et 124 µg/L en 2013.

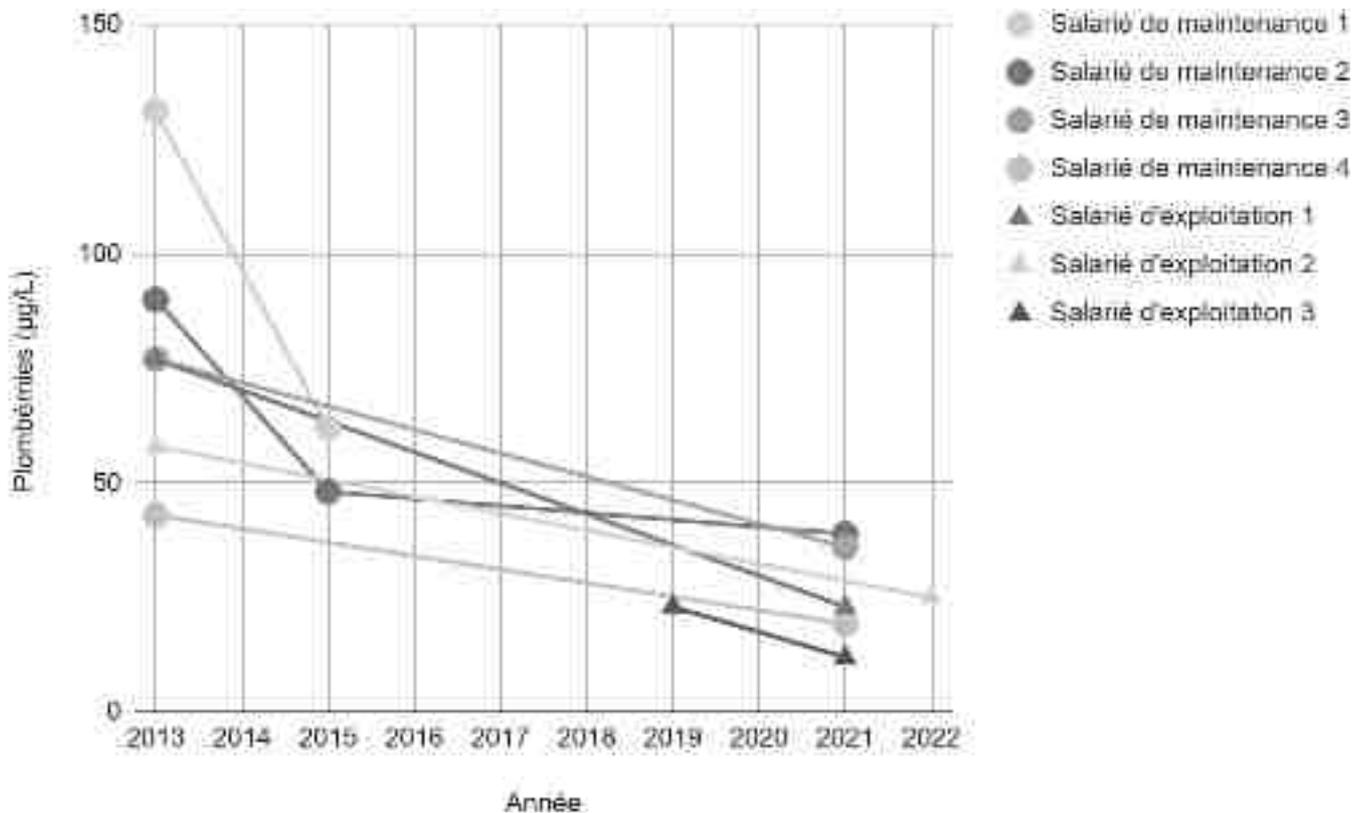
Des différences dans les niveaux de plombémie peuvent être observées en fonction de la période de prélèvement. La médiane des plombémies réalisées entre 2013 et 2015 est ainsi plus élevée que la médiane des plombémies effectuées entre 2019 et 2022 (respectivement 64,05 et 16,95 µg/L). Cette tendance peut être retrouvée sur la figure n° 11.

Figure n° 11 : Comparaison des plombémies ($\mu\text{g/L}$) sur les deux périodes 2013-2015 et 2019-2022 (diagramme en violon)



Pour certains salariés (4 de maintenance et 3 d'exploitation), plusieurs mesures ont pu être réalisées dans le temps. L'ensemble des plombémies est en diminution au cours du temps (figure n° 12).

Figure n° 12 : Évolution dans le temps des plombémies ($\mu\text{g/L}$) de certains salariés pour lesquels plusieurs valeurs de plombémies sont disponibles



Les figures n° 13 et 14 permettent une représentation graphique de l'influence de l'âge et de l'ancienneté des salariés sur les niveaux de plombémie, en les distinguant suivant les périodes de prélèvement. Il ne semble pas exister de tendance entre les niveaux de plombémie et l'âge ou l'ancienneté des salariés. Concernant le tabagisme, les résultats exprimés dans le Tableau n° 7 ne permettent pas de conclure à une influence importante sur le niveau de plombémie.

Figure n° 13 : Niveau de plombémie suivant l'âge des salariés (période 2013-2015 et 2019-2022)

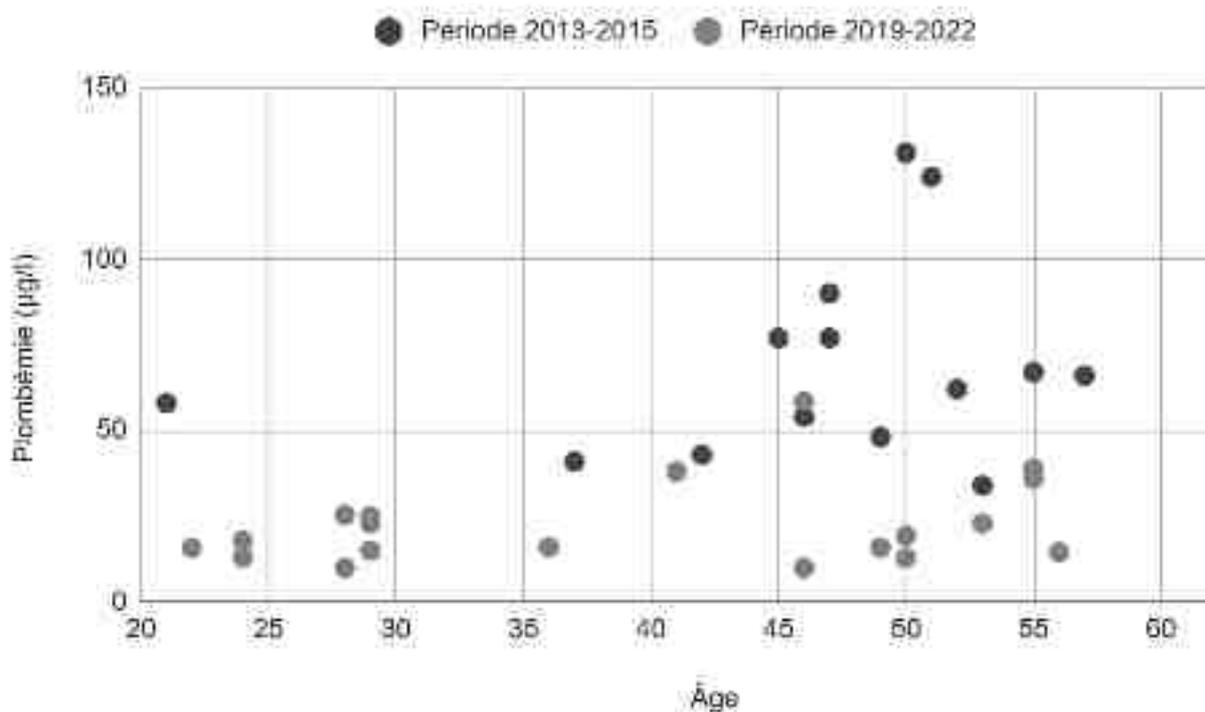
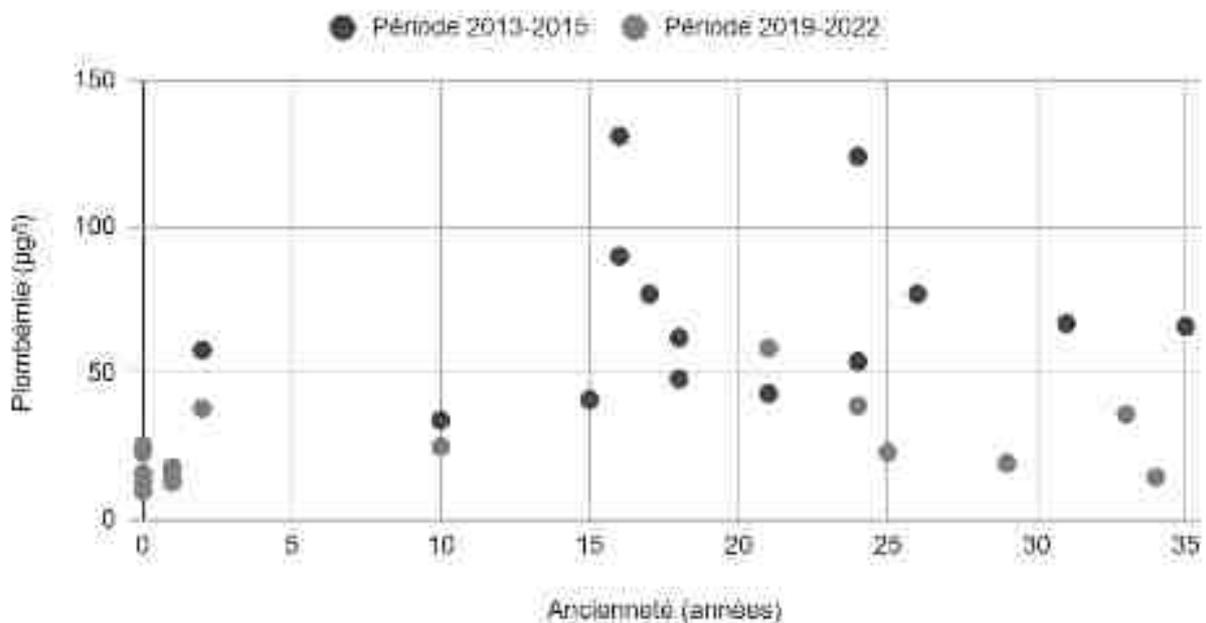


Figure n° 14 : Niveau de plombémie suivant l'ancienneté des salariés (période 2013-2015 et 2019-2022)



V.2 Cadmium urinaire

Selon la base de données Biotox de l'INRS (26) « le **cadmium urinaire**, quel que soit le moment du prélèvement, est le premier indicateur à utiliser dans la gestion du risque à long terme, car il reflète surtout l'exposition chronique et la charge corporelle, tant que la fonction rénale est normale et le site de stockage non saturé. Lorsque la charge corporelle en cadmium est suffisamment importante et/ou l'atteinte rénale commence à s'exprimer, l'excrétion urinaire du cadmium augmente significativement. À des niveaux d'exposition très élevés, la concentration urinaire reflète davantage l'exposition récente que la charge corporelle (effet de saturation). Une corrélation existe entre les taux de cadmium urinaire, l'intensité de l'exposition et le risque d'atteinte rénale, appréciée sur l'élévation des marqueurs d'atteinte tubulaire. [...] Une valeur limite biologique pragmatique (toxicité tubulaire) de **5 µg/g de créatinine** est proposée par l'ANSES pour le cadmium urinaire ainsi qu'une valeur seuil de **2 µg/g de créatinine** pour la mise en place d'un suivi périodique des marqueurs urinaires précoces de tubulopathie (RBP et β2M) ».

Pour éviter une contamination externe lors du prélèvement, le dosage doit être fait de préférence le matin avant la prise de poste, en dehors des locaux de travail.

Pour la population générale française, selon l'étude Esteban (183), le niveau de cadmium urinaire moyen des hommes de 18 à 74 ans était de **0,47 µg/g de créatinine** sur la période 2014-2016 (imprégnation augmentée de 53,64% chez les adultes fumeurs). L'ANSES propose pour la population générale une valeur biologique de référence de **0,8 µg/g de créatinine** pour les non-fumeurs et de **1 µg/g de créatinine** pour les fumeurs.

Dans notre étude, 11 résultats de cadmium urinaire ont pu être exploités, provenant de 11 salariés différents (7 de l'équipe d'exploitation, 4 de l'équipe de maintenance ; moyenne d'âge de 38 ans, ancienneté moyenne dans l'entreprise de 14 ans). L'ensemble des mesures a été réalisé sur une campagne de mesures en juillet 2021. Les difficultés d'organisation et

d'acceptation des analyses n'ont pu permettre d'effectuer des mesures en début et fin de poste chez les mêmes salariés, la collecte s'est donc faite en une fois (début de poste pour certains salariés, fin de poste ou milieu de journée pour d'autres salariés). La plupart des salariés approchaient de la fin de leur cycle de travail (4^e jour sur 5). Les résultats sont présentés dans le Tableau n° 8.

Tableau n° 8 : Niveau de cadmiurie des salariés (exprimé en µg/g de créatinine)

	Nombre de mesures	Cadmiurie (médiane [min ; max])	Âge (moyenne ± écart-type)	Ancienneté (moyenne ± écart-type)	Tabagisme actif (n (%))
Ensemble	11	0,20 [0,10 ; 0,80]	38 ± 14	7 ± 11	4 (36 %)
Maintenance	7	0,30 [0,10 ; 0,60]	44 ± 13	7 ± 11	2 (29 %)
Exploitation	4	0,15 [0,10 ; 0,80]	27 ± 3	7 ± 12	2 (50 %)
Fumeurs	4	0,60 [0,20; 0,80]	39 ± 17	12 ± 13	4 (100 %)
Non fumeurs	7	0,10 [0,10 ; 0,60]	38 ± 13	4 ± 9	0 (0 %)
Début de poste	3	0,20 [0,10 ; 0,60]	32 ± 15	1 ± 0	1 (33 %)
Fin de poste	5	0,30 [0,10 ; 0,80]	37 ± 13	10 ± 13	2 (40 %)

Le niveau de cadmium urinaire médian est de **0,20 µg/g de créatinine** (niveaux individuels de 0,1 à 0,8 µg/g de créatinine), ce qui est inférieur à la fois à la valeur biologique de 2 µg/g de créatinine proposé par l'ANSES, mais aussi au niveau moyen de la population générale adulte masculine.

Si les niveaux médians sont légèrement plus élevés pour les salariés de maintenance que pour les salariés d'exploitation, les niveaux moyens sont similaires (moyennes respectives de 0,36 et 0,30 µg/g de créatinine). Au vu de la petite taille de l'effectif, l'interprétation des résultats doit cependant rester prudente. Le niveau médian de cadmium[u] semble plus élevé pour les salariés fumeurs, comme cela est décrit dans la littérature. Les niveaux retrouvés en début et fin de poste, réalisés chez des salariés différents, sont exposés à titre informatif mais ne sont pas interprétables (faible nombre de mesures, prélèvements sur des salariés différents).

V.3 1-Hydroxypyrene urinaire

Selon l'INRS, « le 1-hydroxypyrene (1-OHP) urinaire, métabolite du pyrène, est le biomarqueur le plus utilisé de l'exposition aux HAP depuis les années 80. [...]. Le 1-OHP est un indicateur de l'exposition au pyrène, HAP non cancérigène. Le pyrène est en général un des composés majeurs des mélanges d'HAP mais sa proportion relative par rapport aux HAP cancérigènes du mélange, notamment le rapport entre les concentrations de pyrène et de BaP (ratio pyrène/BaP), est très variable en fonction des secteurs d'activité et des postes de travail. Le 1-OHP peut être un indicateur pertinent de l'exposition au mélange, à condition de connaître la composition qualitative et quantitative du mélange auquel les travailleurs sont exposés. Enfin, il peut être utilisé pour évaluer le risque cancérigène, à condition de connaître le ratio pyrène/BaP ou pyrène/HAP cancérigènes. Une VBI unique applicable à l'ensemble des situations de travail (et donc quel que soit le ratio pyrène/BaP) ne peut donc pas être proposée pour ce biomarqueur ».

Selon la base de données Biotox de l'INRS « le dosage du 1-hydroxypyrene se fait sur les urines de fin de poste et fin de semaine de travail, surtout des 2 derniers jours pour mesurer l'exposition de la semaine et sur les urines de début de poste en début de semaine de travail pour mesurer le niveau de base après 48 heures de non-exposition ; l'idéal serait d'effectuer un dosage supplémentaire sur les urines recueillies 3 à 6 heures après l'arrêt de l'exposition car le pic d'excrétion apparaît souvent de façon retardée, surtout en cas d'exposition cutanée prédominante. [...] Une valeur sans effet biologique de [...] 1 $\mu\text{mol/mol}$ de créatinine [soit environ **1,93 $\mu\text{g/g}$ de créatinine**] [...] est proposée pour le 1-OHP urinaire correspondant à un seuil sans effet cytogénétique retrouvé dans des situations professionnelles où le ratio pyrène/B(a)P est de 2,5 par défaut» (26).

Pour les sujets non professionnellement exposés, l'étude américaine NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) retrouve un niveau médian de **0,1 et 0,3 $\mu\text{g/g}$ de**

créatinine respectivement chez les non-fumeurs et les fumeurs (184). En France, une étude retrouve un niveau médian de **0,02** et **0,1 µg/g de créatinine** respectivement chez les non-fumeurs et les fumeurs (185).

Dans notre étude, 11 résultats de 1-OHP urinaire ont pu être exploités, provenant de 11 salariés différents. Ils ont été réalisés sur la même population et les mêmes échantillons que pour les analyses de cadmium urinaire, sur une campagne de mesure en juillet 2021 (7 salariés de l'équipe d'exploitation, 4 de l'équipe de maintenance ; moyenne d'âge de 38 ans, ancienneté moyenne dans l'entreprise de 14 ans). Les résultats sont présentés dans le Tableau n° 9.

Tableau n° 9 : Niveau de 1-OHP urinaire des salariés (exprimé en µg/g de créatinine)

	Nombre de mesures	1-OHP urinaire (médiane [min ; max])	Âge (moyenne ± écart-type)	Ancienneté (moyenne ± écart-type)	Tabagisme actif (n (%))
Ensemble	11	0,03 [0,02 ; 0,13]	38 ± 14	7 ± 11	4 (36 %)
Maintenance	7	0,03 [0,02 ; 0,13]	44 ± 13	7 ± 11	2 (29 %)
Exploitation	4	0,04 [0,02 ; 0,11]	27 ± 3	7 ± 12	2 (50 %)
Fumeurs	4	0,12 [0,05 ; 0,13]	39 ± 17	12 ± 13	4 (100 %)
Non fumeurs	7	0,03 [0,02 ; 0,03]	38 ± 13	4 ± 9	0 (0 %)
Début de poste	3	0,03 [0,03 ; 0,05]	32 ± 15	1 ± 0	1 (33 %)
Fin de poste	5	0,03 [0,02 ; 0,13]	37 ± 13	10 ± 13	2 (40 %)

Le niveau de 1-OHP urinaire médian est de **0,03 µg/g de créatinine** (0,05-0,8 µg/g de créatinine), ce qui est inférieur à la valeur biologique de 1,93 µg/g de créatinine proposée par l'INRS et comparable au niveau de la population générale. Il semble que les niveaux soient similaires entre salariés de maintenance et d'exploitation (médiane respectives de 0,03 et 0,04 µg/g de créatinine). Au vu de la petite taille de l'effectif, l'interprétation des résultats doit cependant rester prudente. Le niveau médian de 1-OHP [u] semble plus élevé pour les salariés fumeurs, comme cela est décrit dans la littérature. Les niveaux retrouvés en début et fin de

poste, réalisés chez des salariés différents, sont exposés à titre informatif mais ne sont pas interprétables (faible nombre de mesures, prélèvements sur des salariés différents).

VI Discussion

VI.1 Synthèse des résultats

VI.1.1 Revue de littérature

- **Mesures atmosphériques**: Des niveaux d'expositions élevés aux **poussières inhalables et alvéolaires** sont régulièrement retrouvés. Par le passé, des niveaux d'exposition significatifs ont pu être retrouvés pour le **plomb**, le **cadmium** et les **dioxines** (en particulier avant les années 2000, sur les UIOM d'ancienne génération). Ponctuellement, des niveaux d'expositions intermédiaires peuvent être rencontrés pour d'autres substances: aluminium, arsenic, chrome hexavalent, nickel, CO, HAP, phosphine, silice. Les expositions sont plus importantes sur certaines tâches: débouillage, transfert de résidus, nettoyage (en particulier au niveau des fours/chaudières et des électrofiltres). Les expositions peuvent être majorées lors de dysfonctionnements techniques nécessitant des interventions manuelles. Les niveaux d'exposition semblent réduits dans les UIOM modernes (automatisation et cloisonnement des opérations, amélioration de la ventilation). Néanmoins, selon l'état des lieux récent des expositions en France, les salariés de maintenance et d'exploitation peuvent être exposés à des niveaux notoires de **poussières inhalables**, de **chrome hexavalent** et d'**aérosols de calcium**. Les salariés de maintenance sont également plus exposés aux **poussières alvéolaires**, au **fer** et au **plomb**. Cette exposition plus importante peut être liée à l'utilisation d'équipements pouvant remettre en suspension des particules (perceuse, meuleuse, poste à souder). Les

salariés des équipes d'exploitation sont exposés en particulier lors des procédures de débouillage manuel. Le placeur sera plus particulièrement exposé aux poussières inhalables et aux aérosols de calcium. Les niveaux d'exposition les plus importants sont rencontrés à proximité des trémies de déchargement des OM (poussières, aérosols de calcium, cuivre et chrome hexavalent).

Lors des périodes d'arrêt technique, des niveaux d'expositions significatifs pourront être rencontrés pour les substances suivantes: **poussières inhalable, calcium, plomb, chrome hexavalent, poussières alvéolaires, fer, cuivre, cadmium, aluminium**, vanadium, zinc (antimoine, titane, B(a)P).

- **Biométries**: La plupart des études récentes retrouvent des niveaux relativement faibles chez les salariés d'UIOM en Europe, bien qu'ils puissent être supérieurs à ceux de la population générale. Des niveaux biologiques élevés sont parfois retrouvés pour les **dioxines** et le **plomb**, notamment avant les années 2000. Les niveaux de certaines substances sont ponctuellement plus élevés que pour des populations témoins: **arsenic, cadmium, chrome**, et certains **métabolites de HAP**. Une tendance à la baisse peut être observée dans le temps. La localisation géographique des UIOM peut influencer les niveaux biologiques retrouvés.

Les travaux sont en nombre trop restreints pour se prononcer sur certains métaux (antimoine, béryllium, cobalt, cuivre, étain, fer, iridium, magnésium, mercure, palladium, platine, rhodium, sélénium, thallium, vanadium) et d'autres composés (aflatoxine B1, bisphénols, chlorophénols, esters organophosphorés, PBDE, phtalates).

- **Effets biologiques**: Certaines altérations sont mentionnées dans la littérature, bien que le nombre d'études soit souvent restreint : modification de paramètres du système immunitaire,

altération de la spermatogenèse, modification du niveau d'expression des cytochromes et du métabolisme cellulaire, augmentation du stress oxydatif et des atteintes génotoxiques.

- **Effets sur la santé**: Une atteinte des fonctions respiratoires, d'ordre obstructif, est retrouvée sur plusieurs études et paraît plausible. Il n'est pas possible de conclure de manière claire sur d'éventuels autres effets (cardiovasculaire, dermatologique, cancérigène).

VI.1.2 Biométries locales

L'ensemble des résultats des biométries pour le plomb, le 1-OHP et le cadmium est inférieur aux valeurs limites biologiques professionnelles considérées. Les salariés des équipes de maintenance et d'exploitation semblent présenter des niveaux biologiques similaires. Les salariés fumeurs présentent des niveaux de 1-OHP[u] et cadmium[u] plus élevés. L'ancienneté dans l'entreprise ou l'âge des salariés ne semblent pas influencer les valeurs retrouvées. Ces résultats sont rassurants quant au niveau d'absorption de ces substances chez les travailleurs étudiés, à la période où les analyses ont été réalisées. Il est utile de préciser que les concentrations mesurées actuellement ne préjugent pas du niveau d'exposition et d'imprégnation antérieurs.

Pour le plomb, différentes mesures ont pu être réalisées sur une période prolongée de plusieurs années. Les valeurs sont toutes inférieures à la valeur limite biologique de 150 µg/L proposée par l'ECHA. Une diminution des taux de plombémie peut être observée depuis 2013. Des niveaux d'imprégnation plus importants ont pu être identifiés par le passé, bien que restant inférieurs aux niveaux limites recommandés. Deux salariés en particulier présentaient des valeurs de plombémie plus élevées (124 et 131 µg/l). Il s'agissait de salariés d'une cinquantaine d'années avec environ 20 ans d'ancienneté dans l'entreprise (exploitation et maintenance). Nous ne disposons pas d'éléments concernant leur exposition antérieure. Une deuxième plombémie a pu être réalisée à distance chez un des deux salariés en 2015, avec une valeur plus basse (61,1 µg/l).

Le niveau de plombémie des salariés sur la période 2013-2015 pourrait être corrélé à des niveaux d'exposition plus importants sur cette période. Certains facteurs peuvent être avancés pour expliquer la diminution des taux de plombémie dans le temps: peu d'exposition entre 2015 et 2019 (arrêt de l'UIOM à l'occasion de travaux de désamiantage), diminution des niveaux atmosphériques de plomb à la reprise de l'exploitation, ainsi que l'amélioration des moyens de prévention, qu'ils soient collectifs (améliorations techniques pour éviter les bourrages et la manutention de REFIOM), ou individuels (meilleure procédure de gestion des EPI, sensibilisation des salariés). La sous traitance de certaines tâches pourrait également avoir une influence.

Les données issues de cette étude ont été comparées avec les données issues de la revue de littérature, pour les salariés d'UIOM, et pour ces 3 catégories de biométries. Les résultats peuvent être retrouvés dans l'**Annexe n° 6**. Les niveaux médians des biométries des salariés de l'UIOM étudiées sont inférieurs aux niveaux moyens ou médians retrouvés dans la plupart des autres études. Les études n'ont cependant pas été réalisées sur les mêmes périodes et une tendance de fond à la diminution du niveau d'exposition et d'imprégnation en métaux et HAP est retrouvée dans la population générale. Pour le plomb par exemple, on observe au niveau européen une diminution de 85% des concentrations atmosphériques des années 1990 à 2007 (186). En France, la moyenne géométrique des plombémies des hommes âgés de 18 à 28 ans a diminué de 60% entre 1995 et 2007 (187).

Les données recueillies ont par ailleurs été analysées à l'aide de l'application ALTREX Biométrie développée par l'INRS (188). Cet outil permet notamment d'estimer la probabilité de dépassement d'une valeur limite biologique considérée, pour chaque substance et à partir d'une série de mesures déjà réalisées (au moins 6 mesures). Pour une substance donnée, si la probabilité de dépassement de la valeur limite biologique considérée est estimée à 20%, cela signifie que si 100 mesures avaient été réalisées, 20 mesures dépasseraient probablement la VLEP.

Pour réaliser cette analyse, le test de Shapiro-Wilk (normalité et log normalité) est réalisé systématiquement pour vérifier que la série de données suit une loi de distribution normale ou log normale. La probabilité de dépassement estimée ne peut être retenue que si l'hypothèse de normalité ou de log normalité n'est pas rejetée.

L'homogénéité du GEH considéré est également « vérifiée dans Altrex à travers la confrontation de l'écart-type géométrique des mesures avec le seuil de 3, l'existence de sous-groupes par l'analyse de la variance (ANOVA) et la dérive dans le temps par le test de Spearman » (test de tendance réalisé pour détecter dans les données la présence éventuelle d'une dérive temporelle et basé sur le coefficient de corrélation (r) des rangs de Spearman [calculé sur les mesures et sur les dates auxquelles elles ont été effectuées]) (189).

Pour le **cadmium urinaire et le 1-OHP urinaire**, ni l'hypothèse de distribution log-normale, ni l'hypothèse normale ne sont acceptables.

Concernant la **plombémie**, sur la période 2014-2022, la probabilité de dépassement de la VBI fixée à 150 $\mu\text{g/L}$ (ECHA) est estimée à 1,87% (hypothèse de distribution log-normale acceptée, écart type géométrique < 3). L'analyse de la variance (ANOVA) ne montre pas d'écart significatif entre le secteur "maintenance" et "exploitation" mais confirme une différence significative entre les périodes 2013-2015 et 2019-2022. Selon le test de tendance dans le temps de Spearman, les valeurs semblent présenter une dérive à la baisse au cours du temps.

En restreignant l'interprétation sur la période 2019-2022, la probabilité de dépassement de la VBI fixée à 150 $\mu\text{g/L}$ est estimée à 0,0 % (hypothèse de distribution log-normale acceptée).

VI.1.3 Récapitulatif

Les résultats abordés sont synthétisés dans le Tableau n° 10.

Tableau n° 10: Principales substances identifiées lors de ce travail (mesures atmosphériques et biométries)

Substances	Niveau atmosphérique retrouvé lors de la revue de littérature	Niveau atmosphérique retrouvé lors de la campagne de mesure nationale (9) <i>Mode de fonctionnement: Normal (N); Arrêt Technique (AT)</i>	Niveau des biométries retrouvées lors de la revue de littérature	Niveau des biométries locales
Poussières inhalables et alvéolaires	Élevé	Intermédiaire à très élevé	<i>Pas de marqueurs biométries</i>	/
Aérosols de calcium	/	Intermédiaire à élevé		
Silice	Faible en général pour les opérateurs Élevé sur certaines tâches spécifiques (nettoyage, rénovation de fours)	Faible (N) Exposition ponctuelle possible (AT)		
Amiante	Faible en général	Faible	Proche de la population témoin en général, même s'il existe parfois des différences dans le profil des congénères de dioxines Élevé sur certaines études réalisées dans les années 2000 (Japon)	/
Dioxines	Faible à intermédiaire en routine Élevé sur certaines opérations (nettoyage et d'entretien des fours, chaudières, conduits de fumée et électrofiltres)	Limité <i>(gamme moyenne à haute des valeurs recensées à proximité d'une source d'émission)</i>		
HAP	Faible en général Ponctuellement élevé lors du nettoyage des fours (HAP totaux et B(a)P)	Faible en général Niveau de B(a)P intermédiaire à proximité des fours	<u>1-OHP</u> : Faible en général, parfois supérieur à la population témoin <u>2-NP, 3-OHBP</u> : Supérieur à la population témoin	Faible (1-OHP)
COV	Faible	Faible	Faible	/
Aflatoxine B1	/	/	Plus élevé que la population témoin	/
Bisphénols	/	/	Similaire à la population témoin	/
Chlorophénols	/	/	Faible, bien que plus élevé que la population témoin	/
Esters organophosphorés	/	/	Plus élevé que la population témoin pour certains métabolites	/
Monoxyde de carbone	Faible à intermédiaire (une seule étude)	Faible	/	/
PBDE	/	/	Légèrement plus élevé que la population témoin	/
Phosphine	Intermédiaire (une seule étude)	/	/	/

Phtalates	/	/	Plus élevé que la population témoin	/
Métaux				
Aluminium	En général faible (Ponctuellement élevé lors de certaines opérations)	Faible (N) Faible à élevé (AT)	/	/
Antimoine	/	Faible	Faible	/
Arsenic	Faible (Très ponctuellement élevé)	Faible	Faible en général, parfois plus élevé que la population témoin Dépassements des VLB pour quelques salariés	/
Baryum	/	/	/	/
Béryllium	Faible	/	Faible	/
Cadmium	Variable (Faible à élevé)	Faible (N) Faible à intermédiaire (AT)	Faible en général, parfois plus élevé que la population témoin Dépassements des VLB pour certains salariés	Faible (Cadmiurie)
Chrome	Faible	Faible	Faible en général, parfois plus élevé que la population témoin Dépassements des VLB pour quelques salariés	/
Chrome hexavalent	Ponctuellement élevé	Intermédiaire à élevé	/	/
Cobalt	Faible	Faible	Faible	/
Cuivre	Faible	Faible en général, intermédiaire à proximité de la trémie de déchargement (N) Faible à intermédiaire (AT)	Faible	/
Fer	Faible	Intermédiaire (Maintenance) (N) Faible à élevé (AT)	Supérieur à la population générale (1 seule étude)	/
Manganèse	Faible	Faible	Faible en général	/
Mercur	Faible	/	Faible	
Nickel	Faible en général (Très ponctuellement intermédiaire)	Faible	Faible	/
Plomb	Variable (plus élevé pour les anciennes installations)	Habituel: Faible à intermédiaire (maintenance) AT: Faible à élevé	Élevé pour certaines études anciennes Faible sur les études plus récentes	En général faible et en diminution de 2013 à 2022
Sélénium	Faible	/	Supérieur à la population générale (1 seule étude)	/
Titane	Faible	Faible	/	/
Vanadium	Faible	Faible (N) Faible à intermédiaire (AT)	Faible	/
Zinc	Faible	Faible (N) Faible à intermédiaire (AT)	Faible	

VI.1.4 Risques pour les salariés de l'UIOM étudiée

Les risques associés aux substances suivantes seront développés: poussières inhalables et alvéolaires, chrome hexavalent, plomb, cadmium, dioxines, aérosols de calcium, aluminium, cuivre, fer.

- Concernant les **poussières inhalables et alvéolaires**, les niveaux d'exposition rencontrés sont susceptibles d'engendrer des atteintes respiratoires. Ces atteintes peuvent être aiguës (irritation des muqueuses et des voies respiratoires, exacerbation de maladies respiratoires préexistantes telles que l'asthme) ou chroniques (pneumoconiose, pneumopathie d'hypersensibilité...). Si les grosses particules (diamètre $>10\mu\text{m}$) sont retenues au niveau de la sphère ORL et peuvent engendrer des effets irritatifs locaux, les particules plus fines (diamètre $<5\mu\text{m}$) peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires. L'ANSES a récemment publié un document au sujet des particules de l'air ambiant extérieur, notamment les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur ou égal à $2,5\ \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) (190). Des multiples effets sont mentionnés quant à l'exposition à long terme aux PM_{2,5}, particulièrement sur le plan respiratoire (asthme, BPCO, déclin de la fonction pulmonaire, mortalité de causes respiratoires), cardiovasculaire (altération de la fonction vasculaire, HTA, mortalité toutes causes cardiovasculaires), neurologique, métabolique, cancérigène et surmortalité toutes causes.

Il est également possible que les salariés soient exposés à des niveaux plus élevés de **particules ultrafines** (diamètre inférieur à $0,1\ \mu\text{m}$). Ces dernières sont susceptibles de provoquer des réactions inflammatoires chroniques au niveau des poumons, entraînant des atteintes respiratoires et cardiovasculaires (190,191). Bien que les niveaux d'émission de particules ultrafines soient a priori faibles actuellement en sortie de cheminée (192), il n'existe pas à notre connaissance d'étude sur les taux présents au sein des UIOM.

- Pour le **chrome hexavalent**, au regard de la revue de littérature, il est possible que des niveaux d'exposition atmosphérique significatifs puissent être retrouvés. Il n'existe pas de

biométries spécifiques au chrome hexavalent (ce point sera détaillé par la suite). Les données issues de la littérature retrouvent des taux de chrome total urinaire en général relativement faibles, bien qu'il puisse y avoir des dépassements des VLB. Une exposition chronique au chrome hexavalent est susceptible d'engendrer des atteintes respiratoires (ulcérations de la muqueuse nasale, laryngites, pharyngites), digestives et rénales. Des effets cancérogènes sont également possibles. Cependant, en l'absence de données complémentaires locales, il est difficile de se prononcer sur le niveau de risque associé pour les salariés de l'UIOM étudiée. La réalisation de biométries concernant le chrome total urinaire nous paraît souhaitable pour une meilleure évaluation des niveaux d'absorption.

- La revue de littérature retrouve des niveaux atmosphériques de **plomb** élevés sur certaines UIOM anciennes, ou lors de certaines tâches. Les salariés de maintenance peuvent toujours être exposés à des niveaux significatifs selon les données récentes de l'INRS. Il est possible que les niveaux d'imprégnation en plomb des salariés de l'UIOM étudiée aient pu être plus élevés par le passé avec des valeurs similaires à celles retrouvées dans la revue de littérature (environ 75-200 µg/L selon l'**Annexe n° 6**). Un niveau supérieur à la recommandation ECHA de 150 µg/L pourrait avoir augmenté le risque de développer certaines pathologies sur cette période (système cardiovasculaire, néphrologique), voire à long terme (effet CMR). Les effets sanitaires du plomb varient suivant le niveau de plombémie. Ils sont détaillés dans l'**Annexe n° 7**. Après absorption, le plomb passe dans le sang puis distribué dans les tissus mous et dans les os dans lesquels il s'accumule graduellement. Le plomb stocké au niveau des os sera relargué dans le sang petit à petit, avec une demi-vie de 15 à 20 ans. En cas d'imprégnation osseuse importante, le niveau de plomb pourrait augmenter de manière significative lors d'une déminéralisation étendue (corticothérapie prolongée, ostéoporose, immobilisation prolongée) (182).

Actuellement, s'il est possible que les salariés soient exposés à des niveaux atmosphériques significatifs de plomb sur certaines opérations, le niveau de plombémie des salariés est proche

de celui de la population générale. Le niveau de risque actuel associé à cette substance paraît faible, même si des effets sanitaires peuvent être présents sans seuil de dose pour des plombémies <50 µg (élévation de la pression artérielle, diminution du débit de filtration glomérulaire)(182,193).

- Les niveaux atmosphériques de **cadmium** peuvent être élevés sur certaines opérations. Néanmoins, les niveaux de cadmium urinaire des salariés d'UIOM sont en général bas (études réalisées après les années 2000, mesures locales en 2022). Le niveau de risque associé à cette substance paraît actuellement faible.
- Les niveaux atmosphériques de **dioxines** peuvent être élevés sur certaines opérations. Les niveaux de fond au sein des UIOM sont plus faibles, en particulier depuis les années 2000. Sur le plan biologique, certaines études ont pu identifier des taux élevés de dioxines chez certains salariés d'UIOM par le passé, associées à un cas de chloracnée. Les études récentes retrouvent cependant des taux de dioxines proches de la population générale, bien que la répartition des congénères puisse être différente. Nous ne disposons pas de biométries locales. Certains effets peuvent être observés chez l'adulte en cas d'exposition chronique à des doses intermédiaires de dioxines: cancérogènes, reprotoxiques, immunologiques, neurologiques, endocrinologiques, cardiovasculaires, respiratoires (108). Ces observations peuvent cependant varier d'une étude à l'autre (194). En se basant sur les résultats des études récentes, le niveau d'exposition, d'imprégnation et le risque associé aux dioxines semble faible. L'analyse des données complémentaires locales (mesures atmosphériques) peut permettre de mieux apprécier le niveau d'exposition des salariés de l'UOM étudiée.
- Les niveaux atmosphériques de **HAP** sont en général faibles au sein des UIOM. Quelques études retrouvent des niveaux biologiques plus élevés de certains métabolites de HAP chez les salariés d'UIOM (3-OHBP, métabolite du B(a)P et 2-NP, métabolite du naphthalène). Cependant, les niveaux biologiques de 1-OHP[u] des salariés sont en général bas (revue de littérature et mesures locales). En considérant le niveau de 1-OHP[u] comme biomarqueur de

l'exposition totale aux HAP, (pyrène présent dans la plupart des mélanges de HAP), le niveau de risque associé paraît donc faible.

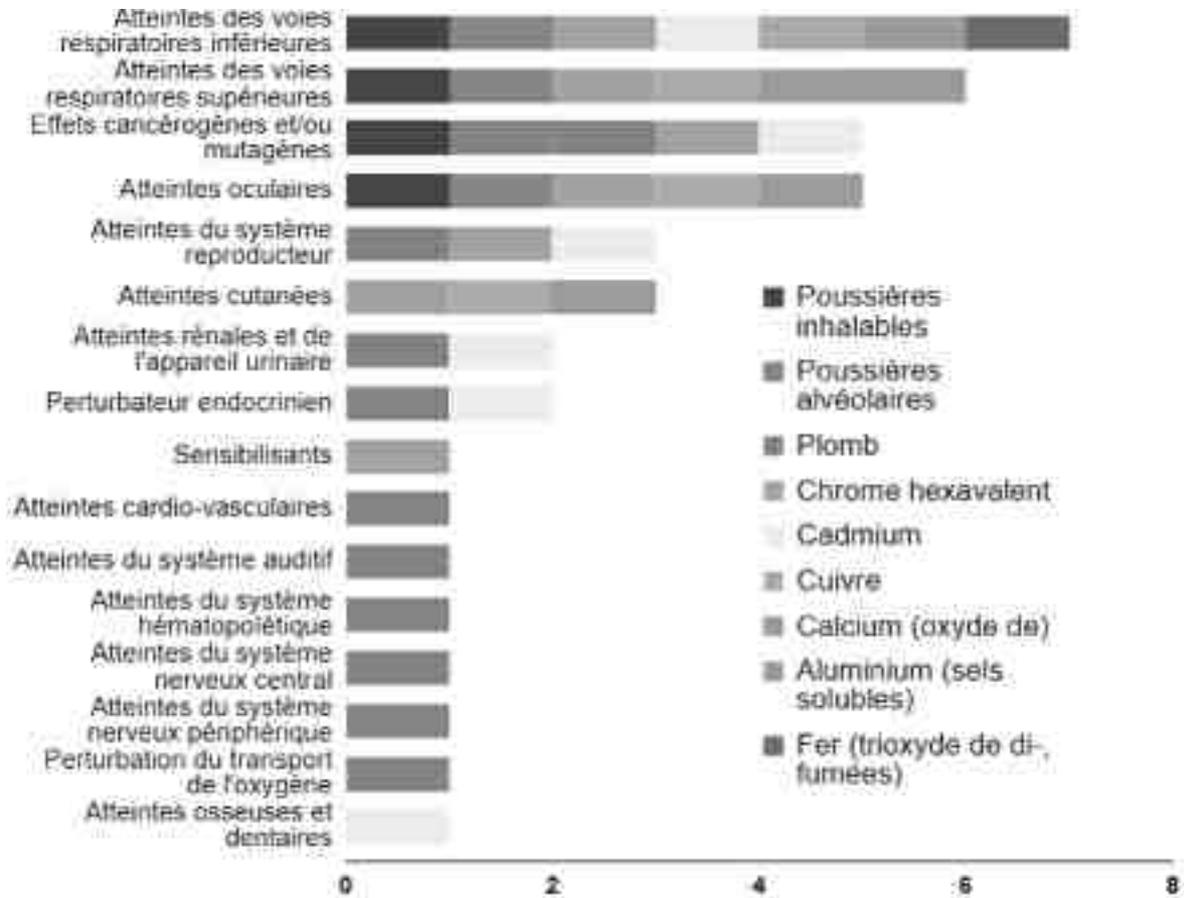
- Concernant les **aérosols de calcium, fer, aluminium et cuivre**, des niveaux d'exposition atmosphériques significatifs peuvent être rencontrés. Nous ne disposons cependant pas des résultats des mesures atmosphériques locales. Peu de biométries ont été réalisées pour ces substances. La toxicité de ces substances est plus faible et essentiellement d'ordre pulmonaire. Des atteintes respiratoires de type irritatif pourraient être retrouvées.
- Nous manquons de données pour un certain nombre de substances (phtalates, bisphénol, PBDE, dioxines bromées...).
- Si les effets relatifs à l'exposition à une substance à haute dose sont en général documentés (Tableau n° 4), les effets sur la santé pour des petites expositions à de multiples substances sont plus difficiles à appréhender. L'absorption individuelle de chaque substance est susceptible d'être modifiée : il peut exister un effet compétitif entre différentes substances, diminuant in fine la pénétration de certains composés. Les interactions entre substances peuvent également entraîner une variabilité de leur toxicité (effets toxiques additifs, supra-additifs, infra-additifs). Le mélange de certains produits toxiques présents à des doses très faibles, ou de certains produits intrinsèquement peu toxiques, peut ainsi conduire à un ensemble beaucoup plus néfaste (effet « cocktail »). Les mécanismes d'élimination peuvent également être saturés ou altérés, augmentant le temps d'excrétion et la durée d'imprégnation des différents composés.

Nous avons utilisé la base MiXie (INRS) (195) pour prendre en compte les polyexpositions. MiXie est un outil web d'aide au diagnostic qui permet de repérer les effets additifs potentiels d'un mélange de substances.

La figure n° 15 permet une représentation des effets toxicologiques reliés aux principales substances identifiées. Sur les 10 substances retenues, les principales classes d'effets potentiels concernent l'atteinte des voies respiratoires inférieures et supérieures et les effets

cancérogènes ou mutagènes. Les dioxines ne sont pas prises en compte car non intégrées dans MiXie.

Figure n° 15 : Nombre d'agents chimiques par nature d'atteinte à la santé - Source : INRS - Mixie (195)



Selon les explications de l'INRS, « pour chacune de ces classes d'effets, MiXie calcule l'Indice d'Exposition à effets Additionnels : IAE (somme des rapports entre la concentration mesurée et la VLEP 8h pour chaque substance)» (196) . Si l'IAE est supérieur à 100%, la situation est jugée potentiellement à risque. Ce modèle présente certaines limites: «Il ne permet pas de prédire exactement les effets toxiques susceptibles de survenir lors d'une multi-exposition, car l'outil est basé sur des hypothèses de travail :

- L'additivité des effets est l'hypothèse prise par défaut. Or, l'exposition à un mélange de substances peut donner lieu à d'autres phénomènes (supra-additivité, infra-additivité) pouvant modifier la toxicité [...]

- MiXie France s'appuie sur les VLEP 8h françaises des substances pour calculer l'indice d'exposition à effets additionnels (IAE) [...]. Or, les VLEP 8h sont déterminées à partir d'un effet critique et non à partir de l'ensemble des effets potentiels d'une substance. MiXie France fait donc une approximation pour donner un premier niveau d'information aux préventeurs ». Cet outil pourrait être utilisé pour affiner les résultats des campagnes de mesures atmosphériques réalisées dans l'entreprise.

La plupart des substances étudiées peuvent engendrer une atteinte des voies respiratoires inférieures et supérieures, ce qui paraît concordant avec les études mentionnant des atteintes respiratoires chez les salariés d'UIOM. Concernant d'éventuelles atteintes cancérogènes, les études sur les salariés d'UIOM ne permettent pas de répondre à cette question de façon définitive. Certaines études retrouvent cependant des altérations biologiques précoces (modification du métabolisme cellulaire, augmentation des niveaux de stress oxydatif, atteintes génotoxiques).

Nous avons fait le choix dans ce travail de ne pas prendre en compte les résultats des études concernant les riverains en dehors des éléments exposés dans le Tableau n° 6. Le nombre d'études associées est très important, mais les résultats sont inhomogènes et les conditions d'exposition ne sont pas les mêmes. Cependant, les études réalisées comprennent des effectifs plus nombreux et sont de meilleure qualité statistique. La possibilité d'atteinte cancérogène pour cette population est discutée: une augmentation de certaines pathologies est décrite pour les populations exposées aux rejets des UIOM d'ancienne génération : lymphome non hodgkinien, sarcomes des tissus mous, cancer de l'intestin (70). D'autres études ne retrouvent néanmoins pas d'association entre le risque de cancer et l'exposition aux incinérateurs de déchets. Il semble que les incinérateurs de nouvelle génération soient moins nocifs, même si l'on dispose de moins de recul.

Il reste difficile d'évaluer le risque associé aux expositions chimiques pour la santé des salariés des équipes de maintenance et d'exploitation d'UIOM. Cela s'explique notamment

par la variabilité des expositions, la diversité des polluants émis et la physiopathologie complexe des maladies. D'autres effets peuvent ne pas être identifiés actuellement, ou partiellement, comme pour les dioxines ou des composés perturbateurs endocriniens. La plupart des auteurs soulignent la nécessité de poursuivre des travaux de recherche, les résultats obtenus à l'heure actuelle ne permettent pas de conclusion définitive sur la question.

VI.2 Points forts du travail

La première partie du travail a cherché à être la plus exhaustive possible concernant le domaine de l'incinération, afin que le lecteur puisse se figurer au mieux les enjeux de la prise en charge des déchets aujourd'hui en France. Le fonctionnement d'une UIOM a également été détaillé et illustré pour permettre de comprendre les différentes étapes et subtilités du processus d'incinération. La partie réglementaire a été développée du fait de son impact sur l'exposition et l'évaluation des risques.

Ce travail a permis de synthétiser un large ensemble d'études réalisées spécifiquement pour les salariés d'UIOM, sans tenir compte des études réalisées sur les incinérateurs de déchets industriels ou dangereux. Certains documents non mentionnés dans d'autres revues de littérature ont pu être pris en compte. La revue de littérature a permis de prendre en compte à la fois les mesures atmosphériques retrouvées dans les UIOM (niveaux d'exposition potentielle des salariés), les résultats de biométries des salariés (niveau d'absorption réel des substances) et les effets sanitaires identifiés.

Ce travail s'est par ailleurs concentré sur une situation locale. Une analyse détaillée des biométries effectuées sur les salariés de maintenance et d'exploitation a pu être réalisée. Il répond à une demande des salariés et de la médecin du travail et complète le travail de mémoire réalisé.

VI.3 Limites du travail

VI.3.1 Difficultés d'évaluation

VI.3.1.1 Nature des expositions

Les produits chimiques classiquement utilisés en entreprise disposent en principe d'une fiche de données de sécurité, permettant de connaître les principales substances contenues. Ce principe ne peut s'appliquer au sein des UIOM : il peut exister une forte variabilité entre les différents lots de déchets, suivant leur provenance géographique, et selon les périodes de l'année. La variabilité des substances incinérées entraînera une variabilité des substances au sein des REFIOM et des mâchefers, et une variabilité des taux atmosphériques.

S'il existe des données issues de campagnes nationales de caractérisation des déchets de 1997 et de 2007, les substances présentes au sein des déchets évoluent. La concentration de certaines substances diminue (mercure, métaux pris en charge dans la filière de recyclage), tandis que d'autres composés chimiques apparaissent (nanomatériaux, bisphénols, phtalates...).

VI.3.1.2 Niveau d'exposition et d'imprégnation

Les **campagnes de mesures atmosphériques** réalisées dans l'**UIOM étudiée** n'ont pu être détaillées dans ce travail. Il est probable que des niveaux d'exposition intermédiaires à élevés soient encore rencontrés pour certaines substances, à l'image des campagnes de mesures réalisées au niveau national. Il est possible que les niveaux d'exposition aient pu être plus élevés par le passé en cas de période de dysfonctionnements techniques répétés, entraînant des interventions manuelles plus récurrentes, notamment au niveau des REFIOM (débouchage des conduites, électrofiltres).

Les niveaux retrouvés sur des **prélèvements surfaciques** n'ont été que très partiellement développés dans ce travail. Ils pourraient être des indicateurs des expositions possibles par

voie cutanée ou digestive (contact cutanéomuqueux, repas, cigarettes...), qui peut être importante pour certaines substances (dioxines, HAP, nickel, arsenic...).

Les niveaux d'expositions relevés dans la revue de littérature ne tiennent pas compte des **EPI**, notamment des APR respiratoires mis en place qui permettent de limiter l'absorption pulmonaire. L'efficacité des EPI est difficile à évaluer car variable en fonction des conditions d'utilisation, des connaissances de l'utilisateur, de leur entretien et des conditions de stockage. Les biométries permettent de prendre en compte l'absorption réelle des substances. Cependant, il n'est pas possible de quantifier l'ensemble des substances.

VI.3.2 Revue de littérature

Si la revue de littérature a cherché à être exhaustive, elle fait la synthèse d'études réalisées sur un laps de temps étendu, dans des zones géographiques variées. Depuis les années 1980, les incinérateurs ont connu des évolutions technologiques et réglementaires, notamment en France. Les niveaux d'exposition relevés ne sont ainsi pas à considérer comme parfaitement transposables à la situation de l'usine étudiée. Concernant l'inclusion des études, il n'a pas été mis en place de critère de qualité type critère PRISMA. Une autre limite vient du fait que dans les différents travaux retrouvés, les populations de travailleurs étudiés ne sont pas toujours bien caractérisées (nature du travail, type d'opérations réalisées, équipements portés). Des facteurs de confusion ne sont également pas toujours pris en compte (tabagisme, IMC, régime alimentaire...). La portée statistique des différentes études peut être limitée par le fait qu'elles portent sur des petites populations. Enfin, il convient de noter que certaines données ne sont pas publiées dans la littérature scientifique mais sont plutôt issues de rapport de la société civile (littérature grise). Bien que ce travail ait cherché à prendre en compte certains documents non issus de publications scientifiques, les données prises en compte sont probablement encore incomplètes.

Concernant les **analyses de morbidité et de mortalité**, elles peuvent être biaisées par l'effet "travailleur sain". Il s'agit d'un biais de sélection lorsque les salariés sont comparés

directement à la population générale. Les personnes en capacité de travailler sont en meilleure santé que la population générale dans laquelle des individus n'ont pas la capacité de travailler. Il existe en effet une sélection croissante des salariés plus endurants aux facteurs de risques présents. Cet effet est renforcé sur des postes physiquement plus contraignants.

Une autre limite est la période de latence entre l'exposition et le diagnostic de la maladie chronique : les maladies déclarées 20 ou 30 ans après exposition ne seront pas prises en compte par les études qui s'intéressent aux seuls salariés en activité.

Concernant la revue de littérature des **mesures atmosphériques et biométriologiques**, les valeurs ne sont pas toujours détaillées. De plus, les valeurs limites peuvent être différentes suivant les pays et les périodes considérées. L'**Annexe n° 6** permet une comparaison des taux biologiques de certaines substances (plombémie, cadmiurie, 1-OHP urinaire). Il aurait pu être intéressant de réaliser ce travail pour l'ensemble des substances identifiées, à la fois sur le plan atmosphérique et biométriologique. Un écueil aurait été la prise en compte des différences technologiques et réglementaires entre les différents pays (il est probable que le niveau d'exposition actuel des salariés des pays avec des technologies d'incinération plus anciennes soit bien supérieur au niveau d'exposition des salariés d'UIOM en France). De plus, il aurait fallu prendre en compte le niveau d'exposition et d'imprégnation de la population générale, variable dans le temps, pour pouvoir identifier l'influence spécifique du travail.

Par ailleurs, pour certaines substances (bisphénols, phtalates, PBDE, phosphine), nous ne disposons que de très peu d'études. Certaines substances présentes à des niveaux significatifs dans les mâchefers et REFIOM (Tableau n° 3) n'ont fait l'objet que d'un nombre limité de mesures atmosphériques (baryum, étain). Il est aussi possible que d'autres substances soient présentes et n'aient pas à ce jour été analysées. Les mesures atmosphériques réalisées ne peuvent prendre en compte l'ensemble des polluants émis.

Les **endotoxines** n'ont volontairement pas été abordées dans ce travail car considérées comme relevant plus du risque biologique. La frontière entre ces deux catégories de risques est

cependant poreuse. Plusieurs études mentionnent des concentrations élevées d'endotoxines au sein des UIOM, notamment au niveau de la fosse de réception des OM (9,74). Ces substances peuvent provoquer des symptômes digestifs (nausées, vomissements, diarrhées), ainsi que des atteintes respiratoires : syndrome toxique des poussières organiques (symptômes pseudo grippaux suite à une exposition forte à des particules organiques), syndrome asthmatiforme, manifestations bronchiques aiguës réversibles ou irréversibles (bronchopneumopathie chronique obstructive) (197).

VI.3.3 Biométries locales

Seules 3 substances ont pu être évaluées. Au vu des multiples expositions, il serait intéressant de pouvoir doser d'autres substances. Ce point sera détaillé dans la partie suivante.

Si ces données reflètent les niveaux d'imprégnation récents, il se peut qu'ils aient été plus importants par le passé, notamment pour le 1-OHP [u] et le cadmium [u] dont les mesures ont été effectuées sur une seule période.

Les mesures urinaires de 1-OHP et de cadmium n'ont pu être faites en suivant les recommandations de prélèvement (fin de semaine, fin de poste) du fait des contraintes logistiques et de la variabilité des horaires des salariés entre les différentes équipes. Il aurait été intéressant de pouvoir réaliser deux mesures distinctes en début et en fin de poste chez les mêmes salariés pour étudier les variations éventuelles.

Concernant le dosage du 1-OHP, il reflète l'absorption du pyrène (HAP tétracyclique), et pas celles des hydrocarbures pentacycliques cancérigènes (comme le B(a)P). Le niveau d'absorption du B(a)P peut être estimé par le dosage du 3-OHBaP.

VI.3.3 Absence de données cliniques locales

Lors de la revue de littérature, plusieurs études font état d'une altération des fonctions pulmonaires des salariés d'UIOM, en particulier chez les salariés les plus exposés. Il aurait été intéressant de pouvoir analyser les spirométries réalisées de manière régulière chez les salariés

de l'entreprise lors de leurs visites périodiques dans le service de santé au travail. Après étude de plusieurs dossiers de salariés, certaines difficultés sont ressorties pour effectuer ce travail de manière rétrospective : variation du matériel utilisé pour les spirométries, données incomplètes, niveau d'exposition réel imprécis, difficultés de réalisation de l'examen par les salariés dans de bonnes conditions... Une analyse sur les données récentes aurait pu être envisagée, mais en raison de l'épidémie de Covid, les spirométries ont été suspendues pendant plusieurs mois. Il serait intéressant que ces données puissent être exploitées dans un travail ultérieur.

Il aurait également pu être intéressant d'étudier les dossiers des salariés de manière rétrospective pour étudier l'apparition éventuelle de certaines pathologies au cours de leur carrière, en comparant les prévalences de ces pathologies avec un groupe témoin. Au vu du faible effectif de l'entreprise, de la durée variable de travail au sein de l'UIOM, du manque d'informations sur certains points (expositions antérieures, niveau d'exposition, antécédents familiaux), ce travail n'a pas semblé pertinent.

VI.4 Propositions et perspectives

VI.4.1 Suivi des salariés

Ces propositions prennent en compte les éléments identifiés dans ce travail, mais n'ont pas à être considérées comme systémiques ni définitives. Ce paragraphe reprend et complète certains éléments déjà abordés dans le cadre du mémoire.

VI.4.1.1 Fréquence du suivi

L'ensemble des salariés des deux équipes étant classés en SIR, un examen médical d'aptitude doit au minimum être organisé tous les quatre ans, avec une visite intermédiaire à 2 ans (pouvant être réalisée par un infirmier de santé au travail). En l'absence de recommandations particulières, cette fréquence de suivi nous semble adaptée. Elle pourrait être modulée suivant l'âge des salariés, l'existence d'éventuelles pathologies préexistantes, et l'existence de signes

cliniques (notamment respiratoires) susceptibles d'être en lien avec les expositions professionnelles. De manière pragmatique, les examens complémentaires mentionnés par la suite seront à effectuer préférentiellement lors des entretiens médicaux.

Depuis octobre 2021, une visite médicale de fin de carrière est prévue pour les salariés bénéficiant ou ayant bénéficié d'un suivi individuel renforcé. Cette visite permet de refaire le point avec chaque salarié sur les substances auxquelles il a pu être exposé, de l'informer sur les risques et les potentiels effets sanitaires différés et de mettre en place le cas échéant un suivi post professionnel adapté. De manière formelle, un document mentionnant les expositions identifiées et une fiche informative concernant la mise en place d'un éventuel suivi post-professionnel doivent être remis au salarié, et à destination du médecin traitant. Une visite médicale de mi-carrière à 45 ans a également été mise en place pour tous les salariés. Elle a notamment pour objectifs de « sensibiliser les travailleurs aux enjeux du vieillissement au travail et sur la prévention des risques professionnels » (198).

VI.4.1.2 Consultations

Lors des différentes consultations, et en particulier à l'embauche, les **antécédents médicaux** suivants sont plus particulièrement à rechercher : consommation d'alcool, tabagisme, traitement en cours, pathologie pulmonaire (bronchite allergique, asthme, BPCO...), neurologique (neuropathie), hématologique (anémie), hépato-rénale (insuffisance) ou métabolique (maladie de surcharge, déficience enzymatique), immunitaire (maladie auto-immune, déficit immunitaire), trouble de la fertilité (et/ou désir d'enfant à venir), antécédents familiaux. Il ne nous paraît pas justifié d'exclure systématiquement des personnes atteintes de certaines pathologies chroniques. Une approche au cas par cas est préférable en fonction du type de pathologie, de son évolution et de sa prise en charge.

L'**entretien** avec le salarié est une source privilégiée pour détecter et dépister certains symptômes (rhinite, crachats, dyspnée, douleur thoracique, dermatose, céphalées, vertiges, troubles digestifs...). Le désir de conception sera également à questionner, avec la recherche

d'une infertilité. Il sera aussi important d'interroger les salariés sur leur ressenti par rapport au risque chimique, afin de les sensibiliser aux circonstances d'exposition et aux moyens de prévention collectifs et individuels en place. En dehors de l'exposition respiratoire et du port des EPI adaptés, une sensibilisation pourra être faite quant au risque de transmission manuportée (collations, tabagisme, contact des mains avec les muqueuses du visage).

L'**examen clinique** comportera une auscultation cardio-pulmonaire, mesure tensionnelle, examen neurologique et locomoteur. La réalisation d'un examen dermatologique systématique à chaque consultation, notamment au niveau des bras et du visage, nous semble pertinente.

VI.4.1.3 Examens complémentaires

La synthèse des éléments présentés est détaillée dans le Tableau n° 12.

VI.4.1.3.1 Biologie

La réalisation de **biométries** semble justifiée pour certaines substances identifiées. Elles sont en effet le meilleur reflet de l'exposition objective des salariés. Elles permettent la prise en compte de la pénétration des substances par voie cutanée et digestive, mais aussi des facteurs atténuant l'absorption (comme le port d'EPI). Les recommandations concernant le dosage de métabolites sanguins ou urinaires proviennent de la base de données BIOTOX (26) éditée par l'INRS. Les éléments exposés dans ce paragraphe ne sont qu'indicatifs et pourront être reconsidérés en fonction des données ultérieures.

- **Chrome hexavalent** : Les niveaux d'exposition atmosphériques peuvent être élevés et une surveillance biologique paraît indiquée. Toutefois, le chrome VI est rapidement réduit après absorption en chrome trivalent, et un dosage sanguin ou urinaire du chrome VI n'est pas représentatif de cette exposition spécifique. Dans un avis rendu en 2017 (199) l'ANSES propose une valeur biologique de référence pour le chrome urinaire total de 0,65 µg/L pour la population générale. Pour les salariés exposés à des composés du chrome sous forme hexavalent, elle estime que le niveau de chrome urinaire total peut être considéré comme

corrélé à l'exposition atmosphérique au chrome hexavalent et propose une valeur biologique d'interprétation de **2,5 µg/L** en milieu professionnel. En considérant que les salariés de l'UIOM ne sont pas exposés à des composés du chrome sous forme hexavalente uniquement, les résultats de biométrie urinaire de chrome total seraient à interpréter « à la lumière des niveaux respectifs des concentrations atmosphériques des différents composés du chrome » (199). Le dosage est à réaliser en fin de semaine et en fin de poste.

- **Plomb** : Les mesures biologiques locales effectuées jusqu'à présent sont dans l'ensemble rassurantes et montrent une réduction des plombémies dans le temps. La poursuite d'une surveillance systématique des plombémies nous semble cependant justifiée, en tenant compte des facteurs de variabilité (notamment l'âge). Le plomb peut être considéré comme « polluant de référence (demi-vie longue, dosage fiable, bien corrélé aux niveaux d'exposition et aux effets sur la santé) » (200). Une augmentation de la plombémie d'un salarié permettrait d'identifier une augmentation du niveau d'exposition, la mise en place insuffisante d'EPI ou une contamination externe. Parmi l'ensemble des valeurs limites biologiques mentionnées, nous conseillons de retenir la valeur de **150 µg/L** (ECHA). Une vigilance accrue pour des plombémies qui dépasseraient **100 µg/L** est également légitime, avec contrôle à 3 mois. Le dosage est à réaliser avant la prise de poste, ou après s'être douché pour éviter une contamination cutanée du prélèvement.
- **Dioxines**: Des niveaux d'exposition atmosphériques élevés ont pu être retrouvés par le passé sur certains types d'opération. Des niveaux biologiques élevés ont pu être identifiés pour certains salariés dans les années 2000, même si les études récentes et en Europe retrouvent des taux proches de la population générale. Au vu de la demi-vie importante des dioxines, de l'ordre d'une dizaine d'années, la réalisation d'un dosage sérique des dioxines chez des salariés ayant été fortement exposés par le passé pourrait être envisagée. Du point de vue du suivi médical des salariés en pratique courante par la médecine du travail, l'intérêt est discutable. Les contraintes sont multiples avec des conditions techniques de prélèvements

déliçates (risque de contamination important, transport de l'échantillon à -20°C, nombre restreint de laboratoires effectuant ce dosage) et un coût élevé de dosage. De plus, l'interprétation du résultat est complexe et doit tenir compte de plusieurs facteurs (alimentation, âge, corpulence, autres activités susceptibles d'entraîner une contamination aux dioxines...). Enfin, si des niveaux de dioxines élevés étaient retrouvés, il n'y a actuellement pas de recommandations de prise en charge ou de suivi post exposition. Le résultat pourrait créer un effet anxiogène significatif. Le dosage de dioxines sériques sur un groupe de salariés d'UIOM pourrait cependant avoir un intérêt dans un travail de recherche sur ce sujet, notamment en France où il n'y a pas eu à notre connaissance de dosage de dioxines réalisé sur cette population.

Le dosage du niveau de dioxines dans les cheveux des salariés pourrait simplifier les démarches de prélèvement, mais le lien entre les niveaux de dioxines sériques n'est pas établi. Il peut exister une contamination externe importante sans contamination interne, et il n'existe pas de niveaux de recommandations sur ce sujet à ce jour.

- **HAP:** Les niveaux atmosphériques de HAP relevés lors de la revue de littérature sont en général faibles. Les taux de 1-OHP urinaires des salariés de l'UIOM étudiée sont bas. Ce dosage ne reflète que l'exposition au pyrène, non cancérigène. Le dosage du 3-OHBaP permettrait d'avoir une meilleure idée du niveau d'absorption du B(a)P, cancérigène. Cependant, les unités utilisées pour ce dosage sont très faibles, de l'ordre du nanogramme, et le dosage doit être fait dans des conditions rigoureuses pour éviter toute contamination. De plus, le dosage du 1-OHP, plus facilement détectable, donne déjà un ordre d'idée de l'exposition générale aux HAP. L'INRS estime que la valeur seuil de 3-OHBaP de 0,95 ng/g. de créatinine peut être dépassée pour des concentrations de 1-OHP en fin de poste et fin de semaine de 1,3 à 4,8 µg/g. de créatinine (26). Les valeurs retrouvées lors de cette étude sont très inférieures à cette valeur. Nous ne recommandons pas de dosage régulier systématique du 1-OHP urinaire, mais la poursuite de campagnes de mesures ponctuelles, ou bien à l'occasion

de fortes expositions accidentelles. Le dosage est à effectuer en fin de poste et fin de semaine de travail. Il serait souhaitable d'y associer un dosage en début de poste et en début de semaine pour mesurer le niveau de base et pouvoir comparer les résultats après exposition. Un troisième dosage en fin de semaine (3 à 6 h après arrêt de l'exposition) serait intéressant car le pic d'excrétion apparaît fréquemment de façon différée. En pratique, ce 3^e dosage paraît compliqué à réaliser. Si les valeurs étaient supérieures à 1,5 µg/g de créatinine, le dosage complémentaire du 3-OHBaP nous semblerait justifié.

- **Cadmium** : Les taux atmosphériques relevés dans la littérature ont pu être élevés par le passé mais ils sont en diminution au cours du temps. Les taux biologiques retrouvés dans la revue de littérature sont en général faibles. Localement, les niveaux de cadmium urinaire sont bas. Ainsi, nous ne préconisons pas de dosage régulier systématique de ce paramètre, mais la poursuite de campagnes de mesures ponctuelles, ou bien à l'occasion de fortes expositions accidentelles. L'INRS recommande d'associer au dosage du cadmium urinaire (exposition chronique) le dosage du cadmium sanguin (exposition récente).
- Concernant l'exposition au **fer** et au **cuivre**, même si des niveaux d'expositions atmosphériques intermédiaires peuvent être rencontrés, les dosages biologiques sanguins ou urinaires ne paraissent pas être des indicateurs fiables d'imprégnation, en raison des variations importantes des niveaux dans le sang et l'urine entre les individus.
- **Aluminium** : Des taux atmosphériques élevés sont retrouvés dans certaines études. Il n'existe pas actuellement de VBI standardisées pour le milieu du travail en France et à l'étranger. Il nous semble opportun de prendre en compte les taux atmosphériques locaux pour se prononcer sur la pertinence de la réalisation de biométries.
- Au sujet des **autres substances** mentionnées dans le Tableau n° 12, il ne nous paraît pas recommandé de mettre en place de suivi biométrologique systématique pour le moment.
- Une altération des paramètres hépatiques et rénaux n'a pas été retrouvée lors de la revue de littérature, bien que l'exposition chronique à de multiples substances puisse avoir un effet

délétère sur le foie et le rein. Cependant, une dégradation de la fonction hépato-rénale (d'origine professionnelle ou non) peut avoir un impact sur la métabolisation des substances absorbées et limiter leur élimination. Parallèlement, des perturbations du bilan immunitaire ont pu être décrites sur certaines études, pouvant être décelées par une NFS.

La réalisation d'un **bilan biologique complémentaire** comprenant une NFS et un **bilan hépato rénal** (ASAT, ALAT, GGT, créatinine plasmatique) à l'embauche nous semble pertinent. Par la suite, la pertinence de la répétitivité d'un tel examen peut être discutée. Il pourrait se discuter au cas par cas suivant les plaintes éventuelles exprimées par les salariés (y compris leur niveau d'anxiété quant à leur santé), leur niveau d'exposition, leur âge et leur ancienneté. Eu égard des inquiétudes exprimées par les salariés, de l'incertitude concernant leur niveau d'exposition et des potentiels effets biologiques liés à la polyexposition, la réalisation de ce bilan tous les deux ans en même temps que le dosage de la plombémie nous semble adapté.

- La question de la réalisation d'une **bandelette urinaire** type LABSTIX® à la recherche d'une protéinurie et d'une hématurie peut être posée, afin d'identifier une éventuelle pathologie vésico-rénale. Il s'agit d'un examen rapide et peu onéreux, mais aussi peu sensible et peu spécifique. Dans le cadre du dépistage du cancer de la vessie, son usage n'est pas préconisé par la SFST dans une recommandation publiée en 2012 (201). Les salariés d'UIOM ne sont par ailleurs pas mentionnés dans cette recommandation comme catégorie de travailleurs à cibler ou pour lesquels il existe une exposition avérée à des facteurs de risque de cancers de la vessie. La bandelette urinaire n'est par ailleurs pas actuellement recommandée pour le dépistage des pathologies rénales (202,203).
- Plusieurs travaux identifiés lors de la revue de littérature retrouvent des atteintes génotoxiques plus nombreuses chez les salariés d'UIOM. La réalisation de **test de génotoxicité** en routine chez les salariés pourrait être discutée. Ces tests permettent d'identifier des biomarqueurs d'effet précoce consécutifs à une exposition à des agents cancérigènes. Le REseau

COopératif de Recherche sur les Déchets (RECORD) s'interroge dans un rapport rendu en 2009 (204), sur l'utilisation de tels tests en vue de la surveillance de l'exposition à des agents CMR, pour les salariés de l'industrie du traitement et du recyclage des déchets. Certaines limites sont évoquées concernant notamment l'interprétation des résultats, les facteurs confondants, le coût économique, l'absence de cadre réglementaire et l'aspect éthique. Cependant, « les tests de génotoxicité ont déjà fait l'objet de nombreuses applications en médecine du travail et il pourrait être judicieux de les utiliser spécifiquement dans l'industrie du déchet ». Le rapport suggère la mise en place d'une « étude pilote de tests de génotoxicité chez les travailleurs de l'industrie des déchets ». Ces préconisations sont mentionnées dans le rapport de l'ANSES (205) sans qu'il n'ait été débuté de démarches en ce sens à ce jour.

VI.4.1.3.2 Autres examens complémentaires

- La réalisation d'une **spirométrie** fournit une estimation des débits ventilatoires (notamment le Volume Expiratoire Maximal Seconde [VEMS]) et du volume mobilisable (Capacité Vitale Forcée [CVF]). Une spirométrie initiale permet d'avoir un examen de référence pour chaque salarié, et le dépistage de pathologies respiratoires préexistantes (asthme, BPCO). Par la suite, les spirométries effectuées lors du suivi bisannuel peuvent permettre d'identifier l'apparition d'un syndrome obstructif (asthme professionnel, BPCO) ou restrictif (ce dernier devant être confirmé par une pléthysmographie). Si la spirométrie est perturbée, une consultation systématique chez un **pneumologue** pour la réalisation d'**EFR** (spirométrie et pléthysmographie) nous semble justifiée.
- La pratique d'une **radiographie thoracique** systématique chez tous les salariés ne nous semble pas pertinente. La Société Française de Santé au Travail (SFST) a publié en 2015 une recommandation de bonne pratique (206) concernant la surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires. La réalisation d'une radiographie thoracique n'est pas recommandée dans le cadre d'un dépistage du cancer broncho-pulmonaire.

Dans le cadre de la surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à la **silice cristalline**, la pratique d'une radiographie thoracique pourrait être envisagée, selon les recommandations de la SFST (207). Cependant, elle ne concerne que les agents ayant eu une exposition moyenne intermédiaire ou forte (supérieure à 0,1 mg/m³, lissée sur l'année). Les niveaux d'exposition à la silice retrouvés dans la littérature pour les opérateurs d'UIOM sont en général bas, en dehors des opérations de nettoyage et de rénovation des fours en période de maintenance, et pendant le nettoyage du précipitateur électrostatique. Si ces opérations sont a priori actuellement effectuées par des opérateurs extérieurs, elles ont pu être effectuées dans le passé par certains salariés de l'incinérateur. Il s'agit cependant d'opérations exécutées de manière irrégulière, et il semble peu probable que le niveau d'exposition moyen sur l'année ait atteint 0,1 mg/m³.

- Selon la SFST (206) « Dans le cadre d'une stratégie de surveillance des travailleurs exposés à des agents cancérigènes pour le poumon [...] l'outil pouvant être recommandé est le **scanner thoracique basse dose sans injection de produit de contraste** dans une population à haut risque de cancer broncho-pulmonaire ». Cependant, il ne s'agit pas d'une préconisation systématique à mettre en œuvre. Le document recommande la mise en œuvre d'une « expérimentation sur le dépistage du cancer broncho-pulmonaire chez les sujets exposés ou ayant été exposés professionnellement à des agents cancérigènes pulmonaires à haut risque de cancer broncho-pulmonaire par scanner thoracique faiblement dosé ». Le niveau de risque est estimé suivant le nombre d'agents cancérigènes auxquels la personne a été exposés, la durée d'exposition cumulée, et l'exposition au tabac (actif ou sevré récemment). La réalisation d'une « étude de faisabilité d'un dépistage organisé du cancer broncho-pulmonaire chez des sujets exposés professionnellement à des agents cancérigènes pulmonaires » (LUCSO) (208) est prévue dans certains départements. Au final, dans l'état actuel des connaissances, la pratique d'un scanner thoracique basse dose ne semble pas recommandée dans le cadre du suivi systématique des salariés des équipes d'exploitation et de maintenance. La question reste

cependant ouverte : la prescription d'un scanner thoracique pour les salariés présents depuis plus de 25 ans dans une UIOM est ainsi mentionnée dans un article paru en 2018 sur le suivi des salariées d'UIOM (209).

La pratique d'un **scanner thoracique basse dose** se justifie néanmoins dans le cadre du **suivi post exposition à l'amiante**, avec une périodicité variable en fonction du degré d'exposition à l'amiante, selon les recommandations HAS (210). Le médecin du travail prescrit périodiquement cet examen chez les salariés ayant été exposés.

- En complément, la réalisation périodique bisannuelle d'un **audiogramme** permettra d'estimer le niveau initial et l'évolution de l'audition des salariés, en prenant en compte la baisse physiologique d'audition liée à l'âge. Une attention plus particulière pourra y être portée dans le cadre du risque chimique. En effet, en dehors du risque d'atteinte auditive liée à l'exposition au bruit, certaines substances peuvent avoir un effet ototoxique, dont le plomb et le monoxyde de carbone.

VI.4.1.3.3 Suivi post exposition

En dehors de la silice et de l'amiante, mentionnés ci-dessus, il n'existe actuellement pas de recommandations particulières concernant le suivi post exposition et post professionnel pour les autres substances mentionnées. Il s'agit pourtant d'un point sur lequel une demande existe, mentionnée par les représentants syndicaux auditionnés dans le cadre de la rédaction d'un avis de l'ANSES récent sur les risques sanitaires pour les professionnels de la gestion des déchets en France (205).

Une communication a été présentée en 2022 par la SFST concernant les surveillances médicales proposées, issues de recommandations françaises existantes ou issues de la littérature (211). Une approche par organe cible est proposée pour les agents cancérigènes, en se référant à l'évaluation faite par le CIRC (57,212).

Le tableau n° 11 permet de synthétiser les substances retrouvées lors de ce travail qui figurent dans l'évaluation du CIRC . La liste d'organes cibles est conséquente et il nous paraît difficile

de choisir un examen qui respecte les critères pour déclencher un dépistage (sensibilité et spécificité correcte, acceptabilité de l'examen, diagnostic précoce de la maladie...).

*Tableau n° 11 : Substances mentionnées dans ce travail et pour lesquelles une atteinte par organe cible est mentionnée par le CIRC (en **gras** les substances principales; en italique les substances retrouvées de façon occasionnelle)*

Localisation cancéreuse	Agents cancérogènes pour l'homme avec indications suffisantes	Agents cancérogènes pour l'homme avec indications limitées
Tous types de cancers confondus	2,3,7,8-TCDD	
Poumon	- Cadmium -Poussières de silice cristalline -Arsenic et ses composés inorganiques -Composés du nickel -Amiante (toutes formes)	2,3,7,8-TCDD
Rein	Chrome hexavalent	- Cadmium -Arsenic et ses composés inorganiques
Cavité nasale et sinus paranasal	<i>Composés du nickel</i>	Composés du chrome (VI)
Estomac		- Plomb -Amiante (toutes formes)
Prostate		- Cadmium -Arsenic et ses composés inorganiques -Travail de nuit posté
Lymphome Non Hodgkinien : tout combiné		2,3,7,8-TCDD
Tissus mous		2,3,7,8-TCDD
Larynx Mésothéliome Ovaire	<i>Amiante (toutes formes)</i>	
Pharynx: tout combiné		<i>Amiante (toutes formes)</i>
Colon Rectum		- <i>Amiante (toutes formes)</i> - <i>Travail de nuit posté</i>
Peau (mélanome)	<i>PCB</i>	
Peau (autres tumeurs malignes)	- <i>Arsenic et ses composés inorganiques</i> - <i>Suie (telle qu'on la trouve dans l'exposition professionnelle des ramoneurs)</i>	
Vessie	<i>Arsenic et ses composés inorganiques</i>	
Foie	<i>Aflatoxines</i>	<i>Arsenic et ses composés inorganiques</i>
Voies biliaires		<i>Arsenic et ses composés inorganiques</i>

Le poumon semble être un organe plus particulièrement à risque et la question de la pratique d'un scanner thoracique pourrait, encore une fois, être posée. Cependant, comme cela a été mentionné dans le paragraphe précédent, il n'y a pas de recommandations en ce sens à ce jour, et il convient d'être prudent quant à la balance bénéfique / risque de la réalisation périodique de cet examen (risque lié aux investigations invasives lors de découvertes de nodules s'avérant

finalement bénins, avec un préjudice d'anxiété, exposition à des irradiations répétées, contraintes techniques...). De plus, les études de mortalité ne permettent pas à ce jour de conclure à un surrisque particulier de cancer pulmonaire chez les salariés d'UIOM.

Les salariés pourront être informés sur leurs expositions lors de la visite de fin de carrière, ainsi que sur d'éventuels signes d'alerte devant amener à consulter un médecin (asthénie, dyspnée, perte de poids, toux chronique, fièvre prolongée). Les possibilités de déclaration en maladie professionnelle pourront également être abordées.

VI.4.1.3.4 Synthèse

Tableau n° 12 : Synthèse des propositions de réalisation d'examens complémentaires

Paramètre recherché	Examen recommandé	Fréquence recommandée	Autre
Évaluation de l'exposition au plomb	Dosage de la plombémie sanguine	Tous les deux ans; contrôle à réaliser à 3 mois si plombémie > 100 ug/L	Un dosage complémentaire ponctuel peut être envisagé lors d'une exposition très importante (<i>par exemple lors d'un accident industriel avec des dégagements de fumées importants et une inhalation respiratoire sur une longue période sans EPI</i>)
Évaluation de l'exposition au chrome hexavalent	Dosage de la chromurie totale	Organisation d'une première campagne de mesure; suivi à réévaluer en fonction des résultats	
Évaluation de l'exposition aux HAP	Dosage 1-OHP urinaire Dosage 3-OHBaP urinaire	Organisation de campagnes de mesures individuelles ponctuelles	
Évaluation de l'exposition au cadmium	Dosage de la cadmiurie, associé à la cadmiémie		
Évaluation de l'exposition aux dioxines	Dosage plasmatique des dioxines	<i>À envisager dans le cadre d'un travail de recherche</i>	
Évaluation de l'exposition au fer et au cuivre	Pas d'indicateurs biologiques fiables	Pas de surveillance biologique recommandée	/
Évaluation de l'exposition à l'aluminium	À effectuer en fonction des résultats des futures campagnes de mesures atmosphériques		
Évaluation de la fonction hépato-rénale	Bilan sanguin : NFS, ASAT, ALAT, GGT, créatinine plasmatique	À l'embauche puis si tous les deux ans	Dosage complémentaire possible
Présence d'une protéinurie et/ou hématurie	Bandelette urinaire type LABSTIX®	Non recommandé à ce jour	
Exploration élémentaire de la fonction respiratoire	Spirométrie	À l'embauche puis tous les deux ans	Orientation vers un pneumologue pour un bilan complémentaire en cas de perturbations
Estimation du niveau de l'audition	Audiogramme		
Exposition à des agents cancérogènes pulmonaires et/ou à l'amiante et à la silice	Radiographie thoracique	Non recommandé	
	Scanner thoracique basse dose	Recommandé seulement dans le cadre du suivi post exposition à l'amiante	
	Test de génotoxicité	Non recommandé à ce jour	

VI.4.2 Autres perspectives

À ce jour, le nombre d'études de cohorte concernant les salariés d'UIOM reste relativement restreint. Plusieurs études ont été effectuées au Japon depuis les années 2000. En Europe, deux études rétrospectives ont été réalisées avant les années 2000 en Suède et en Italie, et deux études de cohorte prospective en France et en Italie, seulement centrée sur la fonction respiratoire des salariés. Une troisième étude de cohorte rétrospective avait débuté en 2010 en Italie mais fut arrêtée en raison de difficultés pour récupérer les données concernant les salariés d'UIOM (absence de registres dédiés aux incinérateurs, période étendue, changements de propriété ou de gestion des usines, difficultés pour identifier et recruter les travailleurs employés de manière non exclusive aux incinérateurs...) (213).

En France, la réalisation d'une étude multicentrique est mentionnée dans plusieurs documents depuis 2004 (204,205,214,215), mais rien n'a été lancé à ce jour. Le réseau RECORD synthétise la problématique dans un rapport quant au suivi médical des salariés des filières déchets en 2012 :

« La mise en place d'études épidémiologiques apparaît donc nécessaire, deux modes de recueil des données sont envisageables [...] : un recueil spécifiquement réalisé pour l'étude par des équipes de recherche [ou] l'utilisation des données des contenus de suivi médicaux recueillis de manière standardisée.[...]. Les **études prospectives** apparaissent les plus opportunes, du fait notamment de la jeunesse de certaines filières, du manque d'indicateurs sanitaires spécifiques et de la difficulté d'identifier une population a posteriori.

Cependant, la faisabilité d'études des affections de longue durée et/ou des causes de mortalité (**cohortes rétrospectives**) chez les professionnels ayant travaillé [...] depuis par exemple les années 1960 est à étudier, de même que la faisabilité d'études cas-témoins pour des pathologies rares ou de longue durée de latence. Pour l'exposition, l'inclusion de mesures d'exposition serait un plus. Cependant, la prise en compte des postes, des types d'installation, des procédés et des déchets traités devrait être déjà concluante. Concernant les données

sanitaires qui doivent être définies pour les deux types de recueil, elles doivent inclure des données sur la santé respiratoire, et en particulier les résultats d'épreuves fonctionnelles respiratoires effectuées de façon standardisée (quelles que soient les filières). Des données sanitaires liées à des problèmes neurologiques, cardiovasculaires, dermatologiques, immuno-allergiques, hématologiques et digestifs sont à discuter. L'**étude de la survenue de cancers** dans une **étude longitudinale** (éventuellement rétrospective) doit aussi être discutée » (215).

Cette démarche pourrait s'inspirer d'initiatives déjà existantes, comme l'étude de cohorte C. PRIM sur la mortalité des sapeurs-pompiers professionnels actifs au 1er janvier 1979 sur une période de 30 ans (216), ou l'étude s'intéressant à la mortalité de la cohorte des égoutiers de Paris (217).

L'ANSES a publié en 2019 un rapport sur les risques sanitaires pour les professionnels de la gestion des déchets en France (205). Ce premier document permet de dresser un panorama général du secteur au niveau national et reste assez générique. Un deuxième travail ciblé sur l'évaluation des risques sanitaires ciblée sur les travailleurs impliqués dans les activités de collecte, tri et traitement des ordures ménagères est actuellement en cours.

Il pourrait également être intéressant d'interroger la base de données du **Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnelles** (RNV3P), qui permet de colliger les données des consultations réalisées au sein des centres de consultation de pathologies professionnelles dans une base nationale, afin de rechercher si certains cas de maladies professionnelles en lien avec le risque chimique ont déjà été identifiées parmi les salariés d'UIOM. Bien que ce travail ne porte pas sur cette population, certaines observations pourraient être émises concernant les **salariés sous-traitants et les intérimaires** travaillant sur site. Ils effectuent les opérations de maintenance et nettoyage des installations lors des arrêts techniques et peuvent intervenir en milieu confiné dans les fours, chaudières ou électrofiltres. Ils disposent en principe d'équipements adaptés (masques ventilés,

sur-combinaisons). Il est néanmoins possible que des salariés amenés à travailler de manière plus ponctuelle soient moins sensibilisés aux risques chimiques et aux EPI adaptés. Il semble qu'ils représentent aujourd'hui la population la plus exposée, bien que sur des laps de temps potentiellement plus courts. Différentes études mentionnées au long de ce travail mentionnent des niveaux d'exposition atmosphérique plus élevés que pour les salariés habituels (HAP, silice), ainsi que des taux de HAP urinaires plus élevés. Des modifications de certains marqueurs biologiques peuvent également être relevées (lésions oxydatives ou dommages oxydatifs à l'ADN). La médecin du travail de l'UIOM étudiée a pu prendre contact avec les médecins du travail qui les suivent habituellement, pour leur suggérer la pratique de biométrie complémentaire, en particulier la plombémie. Ce point est actuellement en cours de réalisation. Il serait intéressant de pouvoir comparer les valeurs obtenues dans cette population avec les salariés de l'UIOM étudiée.

De manière générale, une **harmonisation du suivi médical** des salariés d'UIOM entre les différentes installations en France serait souhaitable. Le réseau RECORD mentionne l'hétérogénéité du suivi des salariés du secteur des déchets par les médecins du travail, et l'absence de recommandations concernant le suivi de ces salariés, en France ou à l'étranger (215). Si le travail réalisé lors du mémoire puis de la thèse pourrait servir de support, la création d'un groupe de travail dédié à cette problématique semble pertinente.

Concernant l'**installation étudiée**, il sera recommandé le dosage des substances suivantes lors des campagnes de mesures atmosphériques : poussières inhalables et alvéolaires, B(a)P, dioxines, aluminium, arsenic, cadmium, aérosols de calcium, chrome hexavalent, cobalt, fer et plomb. Les mesures devront s'intéresser à la fois au GEH Exploitation et au GEH Maintenance. La mise en place d'un processus de vaporisation d'eau dans les endroits particulièrement empoussiérés (hall de réception des déchets, trémies d'alimentation des fours, opérations de maintenance en espace confiné) est à envisager. Une réflexion autour des systèmes de ventilation pourra également être développée (mise en place d'un système filtrant

d'aération permettant la mise en surpression des locaux de travail habituels, cloisonnement de la fosse pour éviter la dispersion des poussières). Concernant les procédures de nettoyage, la mise en place d'un système par aspiration centralisée pourrait être envisagée.

L'amélioration des procédures concernant la mise en place des EPI devra être poursuivie (type d'EPI, niveau de protection, conditions d'utilisation) suivant chaque situation de travail (ce point a notamment été abordé lors du travail de mémoire). Une attention devra par ailleurs être portée à la possibilité de contamination manuportée par des mains souillées directement vers la bouche ou les muqueuses (réalisation d'une campagne de sensibilisation des salariés quant à l'importance du lavage des mains, en particulier avant de manger ou de fumer, augmentation du nombre de points de lavage des mains près des principaux points de passage).

Conclusion

L'incinération est actuellement l'une des principales méthodes de traitement des ordures ménagères résiduelles en France. Cette technique présente l'avantage de réduire le volume des déchets et de produire de l'énergie thermique et électrique. Les risques sanitaires associés à cette technique font l'objet de nombreux débats depuis des dizaines d'années. Une UIOM est une installation complexe où les expositions peuvent varier en fonction de la nature des déchets incinérés, de la zone étudiée et des tâches effectuées. Ce travail s'est intéressé à l'évaluation du risque chimique de salariés d'UIOM travaillant au sein des équipes de maintenance et d'exploitation.

Une revue de littérature a d'abord été réalisée, et déclinée en trois points : études de morbidité et mortalité, études mentionnant la pratique de mesures atmosphériques et études incluant la réalisation de biométries et de marqueurs biologiques. Dans un deuxième temps, ce travail s'est intéressé à l'analyse des résultats des campagnes de biométrie réalisées chez les salariés des équipes de maintenance et d'exploitation. L'objectif était de mieux évaluer le risque, d'adapter le suivi sanitaire de ces salariés et de faire le point sur un éventuel impact sur leur santé.

105 publications ont été incluses et analysées dans la revue de littérature.

Si les taux de mortalité des salariés d'UIOM sont globalement similaires à ceux de la population générale, des atteintes de la fonction respiratoire peuvent cependant être observées. Les études ne montrent pas d'autres types d'atteinte de manière significative (cardiovasculaire, endocrinologique, dermatologique, reproductif). Elles portent néanmoins sur des effectifs souvent faibles et comportent des biais méthodologiques. Il est également difficile de conclure quant à une augmentation du risque de survenue de cancer. Dans l'état actuel des connaissances, les éventuels impacts sur la santé sont surtout décrits pour les installations les plus anciennes.

Concernant les mesures atmosphériques réalisées dans les UIOM, les études décrivent des niveaux d'exposition élevés de poussières inhalables et alvéolaires. Des niveaux d'exposition significatifs de plomb, cadmium et dioxines ont parfois pu être rencontrés avant les années 2000. Une tendance à la baisse de ces niveaux dans le temps est observée. Actuellement, des taux élevés de chrome hexavalent, de poussières inhalables, et d'aérosols de calcium peuvent être retrouvés. Les salariés de maintenance semblent plus exposés par les opérations qu'ils réalisent (également aux poussières alvéolaires, plomb et fer). Les expositions sont majorées sur certaines zones (hall de réception des déchets, trémies d'alimentation des fours) et lors de certaines opérations (nettoyage, débouillage, transfert de résidus, maintenance, arrêt technique).

Sur le plan des biométries, des études décrivent une élévation des niveaux de dioxines et de plombémie chez certains salariés ayant travaillé au sein d'UIOM d'ancienne génération. Les niveaux actuels sont plus faibles et proches de ceux de la population générale. Les taux biologiques des autres métaux sont en général relativement faibles, bien qu'ils soient ponctuellement supérieurs aux taux de la population générale. Le nombre de travaux publiés est cependant restreint pour certains métaux. Concernant les HAP, les marqueurs d'exposition sont en général à des niveaux acceptables. Les salariés d'UIOM présentent des niveaux de marqueurs d'exposition aux COV, chlorophénols et bisphénols similaires à ceux de la population générale. Des niveaux plus élevés que ceux de la population générale sont retrouvés pour certaines substances (PBDE, phtalates, aflatoxines, esters organophosphorés) mais le nombre d'études est insuffisant pour conclure.

Au niveau des marqueurs d'effets biologiques, les données de la littérature ne montrent pas de perturbations importantes des marqueurs biologiques de première intention (hépatique, rénal, hématologique...). Certains éléments peuvent être retrouvés dans quelques études : perturbations du système immunitaire et reproductif, modifications de certains cytochromes et du métabolisme cellulaire, niveau de stress oxydatif plus important et atteintes génotoxiques.

La population de notre étude pour laquelle des biométries ont pu être exploitées était composée de 28 salariés masculins (11 salariés d'exploitation et 17 de maintenance). Les données biométriques des dossiers des salariés ont été utilisées: 34 plombémies, 11 cadmiuries et 11 dosages de 1-OHP urinaire ont ainsi été exploités. Les niveaux de 1-OHP urinaire et de cadmium urinaire étaient bas dans les deux équipes, ce qui est rassurant quant à l'exposition actuelle des salariés. Les plombémies sont actuellement à des niveaux faibles. Elles étaient plus élevées par le passé, sans toutefois dépasser les valeurs biologiques indicatives professionnelles. Une tendance à la diminution des plombémies dans le temps peut être observée.

Au vu de la multiplicité des substances auxquelles les salariés peuvent être exposés, de la variabilité de l'exposition (zone, travail effectué, équipements de protection en place), l'évaluation du risque chimique demeure complexe. La polyexposition à de multiples substances, même à de faibles taux, pourrait engendrer des effets additifs ou synergiques. Une atteinte de la fonction respiratoire semble être le risque principal, notamment en raison de l'exposition à des niveaux importants de poussières inhalables et alvéolaires. Les risques sanitaires seront modulés en fonction de la fréquence d'intervention et des équipements de protection en place. Il serait intéressant de réaliser une étude complémentaire pour évaluer l'évolution de la fonction respiratoire des salariés exposés.

La mise en place d'une étude de suivi de cohorte chez les salariés d'UIOM en France serait pertinente afin d'avoir une évaluation plus fine des risques sanitaires auxquels ils pourraient être exposés ; et ce d'autant plus que d'autres facteurs peu pris en compte dans ce travail peuvent intervenir (coexposition aux endotoxines, ainsi qu'aux particules fines et ultrafines). Une attention particulière devra être portée aux travailleurs sous-traitants ou intérimaires.

La prévention primaire (réduction des niveaux d'exposition par des mesures de prévention collectives, automatisation du process, renforcement des ventilations, port d'équipements de protection individuelle adaptés à chaque situation, formation du personnel) est le principal

levier pour limiter l'exposition des salariés et doit être priorisée. La réalisation des campagnes de mesures atmosphériques reste nécessaire pour quantifier les niveaux de polluants et assurer la traçabilité de ces expositions.

La prévention secondaire (suivi biométriologique, dépistage d'éventuelles atteintes sanitaires secondaires à l'exposition) doit être poursuivie, évaluée et harmonisée. Les salariés bénéficient déjà d'un suivi sanitaire renforcé actuellement avec une visite médicale tous les deux ans associée à une biométriologie dont le contenu et la fréquence optimale de réalisation peuvent être discutés. La visite médicale de fin de carrière est nécessaire afin de mieux repérer les expositions, notamment passées. Elle permet d'étudier les modalités de mise en place d'un suivi post professionnel adapté le cas échéant, ainsi que l'information du salarié et du médecin traitant sur les risques et les potentiels effets sanitaires différés.

Ce travail propose des modalités de surveillance pour la population travaillant en UIOM, modalités qui pourraient être généralisées à d'autres installations du même type.

VU
Strasbourg, le 31 Mai 2023
Le Président du jury de thèse

Professeur *Javier GONZALEZ*



VU et approuvé
Strasbourg, le 02 JUIN 2023
Le Doyen de la Faculté de
Médecine, Manipulatoire et Sciences de la Santé
Professeur Jean SIBILLIA

Annexes

Annexe n° 1: Résumé des études quant à la morbidité et à la mortalité des salariés d'UIOM

Référence	Sujets inclus/ Sites étudiés / Localisation / Type d'étude	Champ d'application de la recherche Éléments recherchés	Résultats notables
1989 Gustavsson (72)	176 salariés ayant travaillé au moins un an dans une UIOM suédoise (Stockholm) entre 1920 et 1985 <i>Suède (Stockholm)</i> Étude de cohorte rétrospective	Étude du taux de mortalité des salariés, comparaison aux taux de mortalité locaux et nationaux	-Taux de mortalité toute cause proches des taux locaux (Rapport Standardisé de Mortalité [SMR] de 0.99). -Taux de décès tous cancers proches des taux locaux (SMR=1.07). -Excès de décès par cancer du poumon par rapport aux taux de décès nationaux (significatif, SMR= 3,55) et locaux (non significatif, SMR= 2,32), mais non corrélé à la durée d'exposition -Excès non significatif de décès par cardiopathies ischémiques par rapport aux taux locaux ou nationaux (SMR respectifs de 1,38 et 1,26). Excès significatif (par rapport aux taux locaux) pour les salariés exposés pendant plus de 30 ans (SMR= 1,67). <i>Biais identifiés: évaluation rétrospective du tabagisme, absence de données détaillées concernant l'exposition réelle des salariés aux substances toxiques.</i>
1992 Bresnitz (78)	86 salariés d'une UIOM, divisés en 2 groupes selon leur exposition estimée (forte ou faible) États-Unis (Philadelphie) <i>Étude transversale</i>	-Spirométrie : Capacité Vitale Forcée (CVF), Volume Expiratoire Maximal par Seconde (VEMS), ratio VEMS/CVF, Débit Expiratoire de Pointe (DEP) -HTA (antécédents, examen médical)	-Pas de différence significative de la fonction pulmonaire en fonction de l'exposition (après ajustement suivant le niveau de tabagisme). Le groupe exposé présente néanmoins un taux légèrement plus élevé (non significatif) de syndrome des petites voies aériennes. -Radiographies en faveur d'une atteinte interstitielle chez 8 salariés, probablement en lien avec le tabagisme. -Radiographies compatibles avec une exposition à l'amiante chez certains salariés. L'isolation des tuyaux et les panneaux sur les parois des fours sont des sources probables d'exposition à l'amiante. -Plus forte prévalence d'hypertension (34%) [et de protéinurie, cf. Annexe n°5] chez l'ensemble des salariés, comparée à la prévalence attendue dans la population nationale, sans que cela ne soit lié au niveau d'exposition (vraisemblablement en lien avec des facteurs de confusion : consommation éthylique, tabagisme, obésité).

<p>1993 Gustavsson (86)</p>	<p>6709 salariés constitués de 4 cohortes de salariés exposés aux sous-produits de la combustion (5542 ramoneurs, 176 salariés d'UIOM, 296 salariés du secteur du gaz et 695 salariés de garages d'autobus) <i>Cohorte des salariés d'UIOM provenant de Gustavsson et al, 1989(72)</i> Suède <i>Méta-analyse de plusieurs études de cohorte rétrospective</i></p>	<p>Étude du taux de mortalité par cancer chez les travailleurs exposés à des sous-produits de combustion</p>	<p>Nombre de cancers de l'œsophage supérieur au nombre prévu lorsque les quatre cohortes sont réunies. Comme le nombre de cancers est faible dans les trois dernières cohortes, la preuve d'une origine professionnelle est également faible lorsque les études sont évaluées individuellement. Les résultats suggèrent une augmentation de la mortalité par cancer de l'œsophage pour les 4 cohortes.</p>
<p>1997 Rapiti (73)</p>	<p>532 salariés de 2 usines de recyclage et d'incinération d'ordures ménagères, employés entre 1965 et 1992, ayant participé aux activités suivantes: collecte et transport des déchets, tri mécanique et manuel des déchets, exploitation de l'incinérateur, préparation de pâte à papier, d'alimentation animale et de compost Italie (Rome) <i>Étude de cohorte rétrospective</i></p>	<p>Calcul du taux de mortalité des salariés, comparaison aux taux de mortalité de la population régionale</p>	<p>Mortalité toutes causes significativement inférieure (SMR= 0,71) Aucun décès observé pour des maladies du système respiratoire Mortalité tous cancers similaire (SMR= 0,95) Mortalité par cancer du poumon inférieure (SMR= 0,55) Mortalité par cancer gastrique augmentée (SMR= 2,79), mais de manière non significative. Elle est toutefois augmentée de manière significative pour les salariés dont la durée d'emploi est supérieure à 10 ans (SMR= 4,61). <i>Les auteurs évoquent un lien éventuel avec l'inhalation de microbes pathogènes volatils, de toxines bactériennes et de poussières organiques.</i> <i>Certaines limites à cette étude sont mentionnées, comme le manque de données précises concernant les expositions et la présence de facteurs de confusion non prise en compte (tabagisme [à priori plus important selon certaines études précédentes], alimentation, mode de vie...).</i></p>
<p>1999 Schechter (82)</p>	<p>2 salariés d'une UIOM ancienne et leurs femmes Japon <i>Étude de cas</i></p>	<p>Étude de cas de deux salariés ayant un taux de dioxines élevé</p>	<p>Le travailleur avec le niveau de dioxines le plus élevé souffre de chloracné. L'autre salarié est en rémission de 2 cancers gastro intestinaux d'étiologie indéterminée (<i>pas de lien de causalité établi</i>).</p>

<p>2000 Kitamura (75)</p>	<p>94 salariés d'une UIOM au Japon, fermée à la suite de la découverte d'émissions élevées de dioxines par la cheminée et une contamination importante aux dioxines des terres voisines</p> <p>Japon <i>Étude transversale</i></p>	<p>Étude des effets de l'incinération sur la santé des salariés</p> <p>-Recherche d'antécédents médicaux (HTA, diabète, hépatite, cirrhose, atopie, troubles de la fertilité, sex-ratio garçons/filles parmi les enfants...) - Examen clinique, comprenant un avis dermatologique</p>	<p>La plupart des sujets semblent en bonne santé, mais signalent diverses maladies au cours des 10 dernières années dans leurs antécédents médicaux : hypertension (14 cas), diabète (8 cas), hyperlipidémie (8 cas), allergie et ulcère gastrique (7 cas chacun), asthme et goutte (4 cas chacun), cancer gastrique et atopie (3 cas chacun), cirrhose, hépatite chronique et maladie rénale (2 cas chacun), cancer du côlon et maladie de la thyroïde (un cas chacun).</p> <p>Les analyses logistiques pour les antécédents de maladie susmentionnés en fonction des niveaux de dioxines, de l'âge, de l'IMC et du tabagisme n'ont pas montré de contribution significative des niveaux de dioxines, en dehors d'un Odds Ratio (OR) plus élevé pour les antécédents rapportés d'hyperlipidémie et d'allergie</p> <p>-Léger excès, non significatif, de la proportion d'enfants de sexe féminin pour les travailleurs fortement exposés (2 garçons et 5 filles) par rapport aux travailleurs faiblement exposés (16 garçons et 17 filles).</p>
<p>2002 Hu (76)</p>	<p>122 salariés d'une UIOM, répartis en 2 groupes suivant leur exposition: -50 salariés regroupés dans le groupe "exposés" (exploitation et maintenance) -72 salariés regroupés dans le groupe "non exposés" (autres salariés)</p> <p>Taiwan (Taichung) <i>Étude transversale</i></p>	<p>Entretien et examen clinique par un médecin</p>	<p>Après ajustement sur la durée de l'emploi, l'âge, le sexe et le tabagisme, le groupe exposé a une pression artérielle systolique significativement plus faible.</p>

<p>2003 Hours (74)</p>	<p>- 102 salariés de 3 UIOM considérés comme exposés Trois groupes d'exposition considérés (groupe 1 : pontiers et opérateurs d'équipements ; groupe 2 : équipe d'exploitation ; groupe 3 : maintenance et traitement des effluents) - 94 travailleurs d'industries témoins appariés France (Lyon, Grenoble) <i>Étude transversale</i></p>	<p>Étude des risques pour la santé des salariés d'incinérateurs de déchets municipaux</p> <p>-Auto questionnaire (tâches professionnelles, habitudes alimentaires, mode de vie) -Examen physique effectué par un médecin, recueil d'éventuelles plaintes -Spirométrie (VEMS; CVF; DEP; Ratio VEMS/CVF)</p>	<p>Pas de différences significatives dans la plupart des symptômes généraux entre exposés et témoins (fatigue, insomnie, céphalée, vertiges...).</p> <p>Symptômes d'irritation cutanéomuqueuse significativement plus fréquents chez les salariés exposés, en particulier pour les salariés de maintenance (OR =4.85).</p> <p>Toux quotidienne plus fréquente pour les salariés d'UIOM, en particulier pour les salariés des équipes d'exploitation et de maintenance (OR respectifs de 6,58 et 2.55).</p> <p>Diminution légère mais significative de plusieurs paramètres de la fonction pulmonaire chez les salariés exposés par rapport aux témoins, en particulier pour les salariés du groupe de maintenance (VEMS, ratio VEMS/CVF).</p> <p>Accident de travail plus fréquents et durée d'arrêt maladie plus longs chez les salariés d'UIOM</p>
<p>2003 Lu (81)</p>	<p>17 salariés de 2 groupes différents (<i>répartition non précisée</i>): -Ouvriers chargés de la maintenance, de l'entretien et de la démolition d'UIOM, considérés comme exposés -Opérateurs habituels de l'usine d'incinération, assurant l'exploitation et la maintenance, considérés comme "non exposés" Taiwan <i>Étude transversale</i></p>	<p>Spirométrie (VEMS, CVF, VEMS/CVF, DEP, DEP25, DEP50, DEP75, DEP25-75)</p> <p><i>Le sexe, l'âge, la taille, le poids, le travail, le tabagisme ont été utilisés comme facteurs de correction pour le test de la fonction pulmonaire.</i></p>	<p>Fonction pulmonaire significativement altérée pour les salariés exposés (ouvriers spécialisés) par rapport aux travailleurs habituels de l'incinérateur.</p> <p>Les valeurs du VEMS, DEP, DEP25 et DEP50 du groupe exposé sont inférieures aux valeurs théoriques.</p> <p>Ces résultats suggèrent une atteinte des bronchioles terminales.</p>
<p>2003 Takata (83)</p>	<p>94 salariés d'UIOM <i>Même cohorte que Kitamura 2000(75)</i> Japon <i>Étude transversale</i></p>	<p>Étude des effets sur la santé liés à l'exposition chronique aux dioxines et à leur accumulation</p> <p>Suivi clinique et dermatologique régulier</p>	<p>Huit sujets ont été diagnostiqués comme ayant de l'acné vulgaire mais pas de chloracné, d'après la densité et de la distribution des lésions.</p>

2003 Ministère japonais Takata (83)	17 salariés de l'UIOM ayant un taux élevé de dioxines lors des premières investigations en 1998, suivis pendant 3 ans Japon <i>Étude de cohorte prospective</i>	Étude des effets de l'incinération sur la santé des salariés	Absence d'éléments cliniques ou dermatologiques qui pourraient être liés à une exposition aux dioxines.
	104 salariés de 6 incinérateurs (3 UIOM et 3 UIIDD) Japon <i>Étude transversale</i>	Examen clinique et dermatologique	
	452 salariés de 26 incinérateurs de déchets au Japon, suivis pendant 3 ans de 1999 à 2001 <i>Japon</i>	Enquête sur les effets sanitaires (<i>non détaillés</i>)	
2004 Mori (84)	Environ 7 500 travailleurs municipaux chargés de la collecte des déchets municipaux/ travailleurs d'incinérateurs (nombre exact non précisé) Japon <i>Étude de cohorte rétrospective</i>	Étude du lien entre l'exposition estimée aux dioxines au travail (fréquence des travaux de nettoyage/entretien, et durée de travail) et le sexe-ratio dans la descendance des salariés <i>Informations recueillies par auto questionnaires (nombre d'enfants, sexe, antécédents professionnels, fréquence des travaux de nettoyage et d'entretien de l'intérieur des incinérateurs)</i>	Tendance à l'augmentation du sexe-ratio garçons/filles de la progéniture des salariés, en fonction de l'exposition, bien que non statistiquement significative.
2005 Baccarelli (85)	Identification de 540 cas de cancer du poumon diagnostiqués pathologiquement (474 hommes et 66 femmes) et 582 témoins (453 hommes et 129 femmes) à partir des dossiers d'autopsie de 1993-1998 de 88 hôpitaux publics de la province Russie (Leningrad) <i>Étude cas-témoin</i>	Étude de l'association entre la profession et le risque de cancer du poumon dans la province de Leningrad, en Russie. <i>Antécédents professionnels obtenus à partir des dossiers personnels</i> <i>Informations sur le tabagisme extraites des dossiers médicaux des centres de santé locaux (proportion de réussite de l'extraction des données et qualité des données non indiquées)</i>	Lors de l'examen de l'association entre des professions spécifiques et le cancer du poumon, les opérateurs d'incinération des déchets présentent un excès de risque qui augmente avec la durée de l'emploi. <i>Pas de prise en compte de certains facteurs de confusion (alcool, mode de vie...).</i>

<p>2005 Charbotel (79)</p>	<p>- 83 salariés de 2 UIOM (hors personnel administratif) - Groupe témoin de 76 salariés non exposés appariés (activité industrielle) France <i>Étude de cohorte prospective</i></p>	<p>Étude de l'évolution des paramètres de la fonction pulmonaire sur une période de 3 ans</p> <p>Spirométrie annuelle pendant 3 ans (CVF/Th, VEMS/Th, Ratio VEMS/CVF, DEP/Th, Débit Expiratoire Maximal [DEM] 25/ Th, DEM 50/ Th, DEM 75/ Th, DEM 25-75/ Th, DEM 25-75 /CVF)</p>	<p>Identification de certaines altérations pulmonaires légères chez les salariés d'UIOM, avec d'éventuels troubles obstructifs (existence d'une réduction significative du DEM 75/Th la première année et du DEMM 25-75/Th la troisième année chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins).</p> <p>Pas d'altération notable de la fonction pulmonaire entre la première et la troisième année.</p> <p>Au cours de la période de suivi, aucune relation n'a été observée entre l'altération de la fonction pulmonaire et le niveau d'exposition (<i>période d'évaluation relativement courte de seulement 3 ans</i>).</p>
<p>2015 Yamamoto (77)</p>	<p>678 salariés de 36 UIOM suivis pendant 8 ans de 2000 à 2007 Japon <i>Étude transversale répétée</i></p>	<p>Étude des effets de l'incinération sur la santé des salariés</p> <p>Entretien et examen clinique avec un médecin (TA, examen clinique y compris dermatologique, entretien sur les antécédents professionnels), et données cliniques provenant d'échantillons de sang (<i>détaillés dans l'annexe n° 5</i>)</p>	<p>Pas de différence essentielle dans la prévalence du diabète et de l'HTA entre les salariés d'UIOM et la population générale.</p> <p>L'exposition professionnelle semble ne pas avoir eu d'effet nocif identifiable pour la santé des salariés.</p> <p>Prévalence de l'hypertension chez les jeunes travailleurs de cette étude (classe d'âge <29 ans; de 30 à 39 ans; de 40 à 49 ans) significativement plus élevée que celles des groupes d'âge correspondants de la population générale japonaise.</p> <p>Taux sériques de PCDD, de PCDF et de dioxines totales significativement associés à la prévalence du diabète.</p> <p>Taux sériques de PCDF, de PCB coplanaires et de dioxines totales significativement associés à la prévalence de l'hypertension.</p> <p><i>Comme le taux de dioxines total des salariés est similaire à celui de la population générale, ces associations significatives pourraient être liées à l'exposition environnementale aux dioxines présentes dans les aliments et l'environnement plutôt qu'à l'exposition professionnelle aux dioxines sur le lieu de travail.</i></p>

<p>2019 Coppeta (80)</p>	<p>58 salariés travaillant depuis au moins 5 ans dans une UIOM, soumis à une surveillance sanitaire annuelle au cours de la période 2010-2015 (personnel administratif exclu)</p> <p>Population d'étude divisée en deux groupes selon l'exposition à la poussière: faible (< 1 mg/m³) ou forte (> 1 mg/m³)</p> <p>Italie <i>Étude de cohorte rétrospective</i></p>	<p>Étude de l'évolution des paramètres de la fonction pulmonaire sur une période de 5 ans</p> <p>Spirométrie au temps zéro et après une période de 5 ans (CVF, VEMS, VEMS/CVF, DEP, DEM 25, DEM 50, DEM 75, DEM 25-75)</p>	<p>Baisse légère mais significative de l'ensemble des paramètres de la fonction pulmonaire, après une période d'exposition de cinq ans, dans les deux groupes (forte et faible exposition).</p> <p>Diminution de certains paramètres (VEMS, rapport VEMS/CVF, DEM 25-75) plus importante dans le groupe à forte exposition, mais de manière non significative.</p> <p>Le tabagisme était associé de manière non significative à un risque plus élevé de baisse du rapport VEMS/CVF, ce qui suggère un effet synergique de l'exposition aux poussières et du tabagisme.</p> <p><i>Les résultats devraient être complétés par une analyse des échantillons des travailleurs sous-traitants opérant dans les zones les plus exposées aux métaux lourds polluants (non publiée à ce jour).</i></p>
----------------------------------	---	--	--

Annexe n° 2: Résumé des études réalisant une estimation des risques sanitaires pour les salariés d'UIOM

Référence	Sujets inclus/ Sites étudiés / Localisation / Type d'étude	Champ d'application de la recherche Éléments recherchés	Résultats notables
<p>2003 Lin (117)</p>	<p>14 opérateurs spécialisés effectuant le nettoyage et la rénovation des fours d'UIOM en période de maintenance</p> <p>Taïwan <i>Étude transversale</i></p>	<p>Évaluation du risque cancérigène lié à l'exposition aux HAP pour les salariés <i>(établie à partir des résultats des mesures atmosphériques et cutanés de BaP, détaillées dans l'Annexe n° 3)</i></p>	<p>Risque de cancer du poumon supérieur à la valeur de risque acceptable (10E-3), pour la plupart des opérateurs, en particulier pour les nettoyeurs de fours (avant et après sablage).</p> <p>Risque de cancer de la peau inférieur à la valeur de risque acceptable (10E-3).</p>
<p>2004 Lim (126)</p>	<p>- 12 salariés d'UIOM ou d'UIDD - 23 riverains d'UIOM ou d'UIDD</p> <p>Corée du Sud <i>Étude transversale</i></p>	<p>Évaluation des risques pour la santé humaine liés à l'exposition aux dioxines de la population adulte générale et des travailleurs des incinérateurs en Corée, en termes de marge d'exposition pour le cancer, les dysfonctionnements de la reproduction, l'endométriose <i>(établie à partir de différents indicateurs, notamment les résultats des mesures de</i></p>	<p>Pour les travailleurs d'UIOM comme pour la population générale, les marges d'exposition sont suffisantes vis-à-vis du risque de cancer et de troubles de la reproduction, mais insuffisantes par rapport au risque d'endométriose.</p>

		<i>concentrations sanguines en dioxines, présentées dans l'Annexe n° 5)</i>	
2008 Wu (159)	37 salariés d'une usine de traitement des mâchefers, répartis en 3 groupes différents: ouvriers sur site, personnel encadrant, personnel administratif <i>(répartition non précisée)</i> Taiwan <i>Étude transversale</i>	Évaluation des risques cancérrogènes et non cancérrogènes liés à l'exposition aux métaux pour les salariés <i>(établie à partir des résultats des mesures biométriologiques détaillées dans l'annexe n° 5)</i>	Le risque cancérrogène d'exposition au cadmium pour les salariés travaillant depuis plus de 10 ans dans les usines de traitement des mâchefers est estimé supérieur à la valeur acceptable (10E-6). Les indicateurs de danger non cancérrogène pour le plomb et le nickel se situent dans les limites acceptables (valeurs non précisées). <i>Les auteurs recommandent de renforcer les pratiques d'hygiène personnelle des travailleurs de l'usine de réutilisation des scories, de conseiller aux employés d'arrêter de fumer, d'utiliser correctement les protections respiratoires, de promouvoir la prévention de la fumée et d'humidifier l'air en permanence.</i>
2016 Li (113)	Salariés d'une UIOM Riverains d'une UIOM Chine	Évaluation des risques cancérrogènes et non cancérrogènes liés à l'exposition aux dioxines pour les salariés d'UIOM et les riverains	Le risque cancérrogène et non cancérrogène des salariés est estimé supérieur à celui des riverains. Cependant, il reste bien inférieur au niveau de risque acceptable (10E-6), ce qui suggère l'absence de risque pour la santé. <i>L'ingestion accidentelle de cendres volantes est le facteur concourant le plus à l'augmentation du risque pour les salariés.</i>
2018 Hsieh (218)	Salariés d'une UIOM Taiwan	Évaluation du risque sanitaire associé à l'exposition aux dioxines contenues dans les REFIOM d'une UIOM (par inhalation, ingestion et contact cutané)	Dépassement du seuil limite du risque cancérrogène et non cancérrogène. Ces risques doivent être considérés comme importants pour les travailleurs sur site.
2020 Lu (166)	-89 salariés d'une UIOM -183 riverains appariés, vivant à moins de 8 km de l'UIOM Chine (Shenzhen) <i>Étude transversale</i>	Évaluation des risques non cancérrogènes liés à l'exposition aux phtalates et aux bisphénols (à partir de l'absorption quotidienne estimée des différents composés, divisés par la dose de référence)	70,8 % des travailleurs sont estimés exposés aux effets non cancérrogènes des phtalates. Le DEHP (Phtalate de bis(2-éthylhexyle)) est le principal contributeur.
2022 Wu (168)	-73 salariés d'une UIOM -97 témoins Chine (Shenzhen)	Évaluation des risques cancérrogènes et non cancérrogènes liés à l'exposition aux esters organophosphorés (EOP)	95 % des salariés sont estimés exempts d'effets non cancérrogènes dus à l'exposition aux EOP. Cependant, le risque cancérrogène estimé lié à l'exposition au phosphate de tris(2-chloroéthyle) est supérieur au niveau de risque acceptable (10E-6).

Annexe n° 3 : Résumé des études mentionnant la pratique de mesures atmosphériques au sein d'UIOM

Référence	Site étudié Localisation Éléments recherchés	Résultats notables mesures sur opérateurs	Résultats notables mesures d'ambiance
1984 Petersson (87)	Différentes UIOM Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre non précisé, plusieurs sites mentionnés) <i>Suède</i> -Poussières totales -Métaux (Al, As, B, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Sn, Fe, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Ti, V, Zn, Zr)	<u>Poussières :</u> Niveau élevé de poussières totales pour les opérateurs d'exploitation (entre 0,6 et 2,1 mg/m ³) et pour les opérateurs au sein du hall de réception (entre 1,2 et 6,1 mg/m ³) <u>Métaux:</u> <i>(Analysés au regard des VLEP françaises actuelles)</i> Niveau élevé de cadmium pour 2 mesures sur 3 (0,020-0,032 mg/m ³) Niveau notable de plomb pour les 3 mesures (0,016-0,02 mg/m ³)	Lors d'une mesure réalisée dans un silo de vidange des REFIOM: -Niveau très élevé de poussières totales (113 mg/m ³) -Niveaux très élevés de cadmium et de plomb (respectivement 0.07 et 3.14 mg/m ³)
1987 Mozzon (88)	1 UIOM (et d'autres sites de traitement de déchets, non détaillés ici) Prélèvements atmosphériques individuels (nombre non précisé, 5 postes décrits) <i>États-Unis</i> -Poussières totales, -Silice (quartz respirable) -Métaux (As, Cd, Pb)	<u>Poussières :</u> Niveau notable de poussières totales (0.3 - 3 mg/m ³) <u>Silice cristalline :</u> Niveau élevé de quartz respirable pour les agents opérateurs de chaudières et pour l'agent nettoyant les électrofiltres (0.08-0.1 mg/m ³) <u>Métaux :</u> Exposition très importante au plomb et au cadmium pour l'agent nettoyant les électrofiltres (respectivement 2,1 mg/m ³ et 0,32 mg/m ³) Exposition importante au plomb pour l'agent inspecteur des grilles de chaudière (0.13 mg/m ³)	

<p>1991 Tharr (89)</p>	<p>1 UIOM Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre exact non précisé, environ 30) <i>États-Unis (Philadelphie)</i> -Poussières totales et alvéolaires, -Silice, -Amiante -Métaux (Al, Ca, Cd, Cr [dont Cr VI], Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Ti, Zn) -Monoxyde de carbone (CO) -Oxyde d'azote</p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration élevée de poussières totales (1,2-11,5 mg/m³) Concentration notable de poussières alvéolaires (0,3-0,7 mg/m³) <u>Silice :</u> Non détectée <u>Amiante :</u> Présence d'amiante sur le prélèvement du conducteur de chaudière (quantification impossible du fait du fort empoussièrément des échantillons) <u>Métaux :</u> Concentration élevé en plomb (0,09-0,14 mg/m³) sur certains échantillons (conducteur de chaudière et 2 ouvriers)</p>	<p><u>Silice :</u> Non détectée <u>Amiante :</u> Présence d'amiante sur un prélèvement (quantification impossible du fait du fort empoussièrément des échantillons). <i>Isolation de l'usine en mauvais état et capable de libérer des fibres d'amiante dans l'air</i> <u>Métaux :</u> Chrome VI (insoluble) détecté sur deux échantillons (0,001 mg/m³) <u>CO:</u> Taux faible (5 PPM) sur un échantillon</p>
<p>1992 Bresnitz (78)</p>	<p>1 UIOM 15 prélèvements individuels et 18 prélèvements à point fixe <i>États-Unis (Philadelphie)</i> -Poussières totales et alvéolaires, -Silice, -Métaux (Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fer, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Ti, W, Zn) -Dioxines (PCDD/PCDF) <i>Concentrations rapportées sur 8 heures</i></p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration notable de poussières alvéolaires (0,02-0,72 mg/m³) <u>Silice :</u> Non détectée <u>Métaux :</u> Concentrations des métaux en général conformes aux normes, à l'exception d'une mesure retrouvant une exposition importante au plomb et au cadmium chez un ouvrier (respectivement 0,49 mg/m³ et 0.021 mg/m³)</p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration faible de poussières alvéolaires (inférieures à 0,18 mg/m³) <u>Métaux :</u> Concentrations conformes aux normes locales (moyennes pondérées sur 8 heures) <u>Dioxines:</u> La plupart des prélèvements retrouvent une concentration de dioxines inférieure à 2,3 pg I-TEQ/m³. Concentration plus élevée lors du nettoyage du four (24,2 pg I-TEQ/m³; mesure depuis l'extérieur du four, porte ouverte)</p>
<p>1992 Rahkonen (92)</p>	<p>1 UIOM (<i>ainsi que d'autres sites de traitement de déchets, non détaillés ici</i>) 16 prélèvements atmosphériques individuels <i>Finlande</i> -Poussières totales, -Métaux (Pb, Cd)</p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration variable (< 0.1-7,1 mg/m³), plus élevée à proximité de la fosse de déchargement des déchets (moyenne de 2,8 mg/m³) <u>Métaux :</u> Faible concentration de plomb (<1.2 µg/m³) et de cadmium (<0,12 µg/m³)</p>	

<p>1994 Donghi (90)</p>	<p>1 UIOM 12 prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe <i>Italie</i> -Poussières totales et alvéolaires, -Métaux (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb)</p>	<p><u>Poussières :</u> Niveau élevé de poussières totales (1-39,4 mg/m³), en particulier au niveau de la terrasse du pont roulant, et pendant les opérations de maintenance et d'enlèvement des REFIOM de l'électrofiltre.</p> <p><u>Métaux :</u> Niveau faible pour la majorité des mesures (concentrations inférieures aux limites recommandées par l'ACGIH [American Conference of Governmental Industrial Hygienists]) Concentrations élevées en plomb, cadmium et aluminium sur un prélèvement individuel d'un salarié au niveau de la zone de décharge des électrofiltres (respectivement 0.28 mg/m³, 0.003 mg/m³ et 2 mg/m³)</p>	
<p>1994 Esswein (93)</p>	<p>1 UIOM 34 prélèvements atmosphériques individuels <i>États-Unis (Chester)</i> -Poussières totales et alvéolaires, -Métaux (Cd, Cr, Ni, Pb) -Silice <i>Concentrations rapportées sur 8 heures</i></p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration notable de poussières alvéolaires (0,11-0,87 mg/m³)</p> <p><u>Silice :</u> Non détectée</p> <p><u>Métaux :</u> Concentrations basses et inférieures aux normes admises (Pb<4,6 µg/m³, Cd< 0,11 µg/m³ , Cr<0,72 µg/m³; Ni non détecté)</p>	

<p>1995 Kinnes (91)</p>	<p>3 UIOM 33 prélèvements atmosphériques (10 individuels et 23 à point fixe) <i>États-Unis (New York)</i> -Poussières alvéolaires, -Métaux (Al, As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb) -Silice, -Dioxines (PCDD/PCDF) <i>Concentrations rapportées sur 8 heures</i></p>	<p><u>Poussières :</u> Concentration notable de poussières alvéolaires (de 0,57 à 0,96 mg/m³) <u>Silice :</u> Traces <u>Métaux</u> Concentrations de certains métaux supérieures aux normes locales lors des opérations de nettoyage des électrofiltres : aluminium (6,2 mg/m³), arsenic (0,019 mg/m³), cadmium (0,099 mg/m³), nickel (0.013 mg/m³), plomb (1,3 mg/m³). Concentrations de plomb et d'aluminium également élevées lors des opérations de nettoyage des fours <i>Les capacités de protection fournies par les masques à ventilation assistée sont parfois dépassées. Les auteurs recommandent la mise en place d'appareil de protection respiratoire plus efficace, l'interdiction de l'utilisation d'appareils à air comprimé pour le nettoyage des vêtements, le développement du travail "à l'humide" et la mise en place d'un programme de surveillance médicale pour les salariés.</i></p>	<p><u>Poussières :</u> Niveau notable de poussières alvéolaires (0,21-2,4 mg/m³). Niveau très élevé lors du nettoyage des électrofiltres (118 mg/m³, rapporté sur 8 heures) <u>Silice cristalline:</u> Niveau de quartz respirable élevé lors du nettoyage des électrofiltres (0.073 mg/m³, rapporté sur 8 heures) <u>Métaux :</u> Concentrations élevées lors du nettoyage des électrofiltres : aluminium (41 mg/m³), arsenic (0,088 mg/m³), cadmium (0,63 mg/m³), plomb (6,3 mg/m³), nickel (0.088 mg/m³) <u>Dioxines :</u> Niveaux très élevés (9-800 pg I-TEQ/m³) lors du nettoyage des fours et des électrofiltres Niveau plus faible en routine (4.6 pg I-TEQ/m³)</p>
<p>1997 Hoffman (99)</p>	<p>Dix UIOM Prélèvements atmosphériques individuels (297 pour le plomb, 130 pour le cadmium) <i>États-Unis</i> Métaux (Cd, Pb) <i>Concentrations rapportées sur 8 heures</i></p>	<p><u>Métaux :</u> Le niveau d'exposition au plomb est estimé faible (<0,03 mg/m³) dans 76% des mesures, intermédiaire (0,03-0,05 mg/m³) dans 9% des mesures, et élevé (>0,05 mg/m³) dans 15% des mesures. Les postes les plus exposés sont par ordre décroissant les agents manutentionnant les cendres, les opérateurs d'exploitation, les ouvriers et les mécaniciens. Niveau d'exposition au cadmium estimé très faible. Il est indétectable dans 66 % des mesures, faible (< 0,0025 mg/m³) dans 31% des mesures, intermédiaire à élevé (> 0,0025 mg/m³) pour 3% des échantillons.</p>	

<p>1997 Stockman n (109)</p>	<p>4 UIOM Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre non précisé) <i>Allemagne</i> Dioxines (PCDD/PCDF)</p>		<p><u>Concentration de dioxines:</u> -Faible au sein du hall de réception des déchets et près du convoyeur de mâchefers (0,21-0,29 pg I-TEQ/m3) -Faible à intermédiaire dans la zone de déchargement des REFIOM issus des électrofiltres (0.59 -25 pg I-TEQ/m3) et dans le hall four/chaudière (4,52-27,4 pg I-TEQ/m3) -Très élevée lors des travaux de nettoyage et d'entretien de la chaudière, des conduits de fumée et surtout des électrofiltres (337-23 846 pg I-TEQ/m3)</p> <p><i>Les dioxines et furanes se trouvent principalement sous forme particulaires dans les poussières (et de manière minoritaire sous forme gazeuse), de sorte que les mesures de réduction des poussières entraînent également une réduction de l'exposition des travailleurs aux dioxines et furanes.</i></p>
<p>1999 Tong (94)</p>	<p>3 UIOM Prélèvements atmosphériques individuels (nombre non précisé) <i>Taiïwan</i> Salariés divisés en 3 groupes suivant leur travail: exploitation [52], maintenance [35], gestion [16] Métaux (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)</p>	<p><u>Métaux :</u> Ensemble des résultats bien inférieur aux normes autorisées <i>(mesures non détaillées)</i></p>	

<p>2000 Cheng (119)</p>	<p>3 UIOM Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre non précisé) <i>Taiïwan</i> COV (60 substances recherchées)</p>	<p><u>COV :</u> Niveau d'exposition faible Principaux COV retrouvés : toluène, éthylbenzène, xylène, naphthalène.</p> <p>Exposition du personnel d'entretien plus élevée que celle du personnel d'exploitation et de gestion en fonctionnement normal Exposition variable suivant les tâches et les activités des employés, les horaires, le matériel et la quantité de déchets reçus. En phase d'arrêt technique, le personnel de gestion peut être plus exposé que les autres groupes.</p> <p>Exposition notable au chlorure de vinyle (1991 µg/m³) sur une mesure réalisée pour un opérateur du pont bascule</p>	<p><u>COV :</u> La principale source d'émission est la fosse de réception des déchets</p>
<p>2001 Manrique (100)</p>	<p>1 UIOM <i>France (Grenoble)</i> Prélèvements atmosphériques individuels (nombre exact non précisé) sur 4 opérateurs effectuant des opérations de nettoyage de fours -Poussières totales et alvéolaires, -HAP (Benzo(a)anthracène [B(a)A], Benzo(a)pyrène [B(a)P], Benzo(b)fluoranthène [B(b)F], Benzo(k)fluoranthène [B(k)F], Chrysène [CHRY], Benzo(g,h,i)pérylène [B(ghi)P], Dibenzo(a,h)anthracène, Fluoranthène [FLT], Pyrène)</p>	<p><u>Poussières :</u> Niveau très élevé de poussières totales lors des opérations de concassage et de nettoyage des fours (25-50 mg/m³), et surtout lors du raclage des grilles et extraction des déchets (300-400 mg/m³) Niveau élevé de poussières alvéolaires lors de ces opérations (2-10 mg/m³)</p> <p><u>HAP:</u> Niveau faible en général (Concentration en HAP totaux entre 60 et 120 ng/m³), sauf lors du raclage des fours (concentrations en HAP totaux et en B(a)P respectivement de 1 850 et 80 ng/m³)</p> <p>Ces expositions se font sur des durées relativement courtes (de 30 à 60 min par opération).</p>	

<p>2002 Besombes (116)</p>	<p>1 UIOM <i>Campagne de prélèvement réalisée sur trois sites (à proximité immédiate de l'usine, à 2 km sous le panache de l'usine et à 1 km en amont du point d'émission)</i> France HAP <i>Mesures réalisées sur 3 jours, en période de fonctionnement normal de l'incinérateur, en période d'arrêt, et en période d'ouverture et de maintenance du four.</i></p>		<p><u>HAP</u> :</p> <p>Augmentation de la concentration totale en HAP observée sur le site de l'incinérateur au moment de l'arrêt du four. La concentration est alors 3 fois plus grande que sur les deux autres sites.</p> <p>Augmentation limitée dans le temps et observé seulement dans la périphérie immédiate de l'usine (<i>pas de détails des mesures</i>)</p> <p>La température du four et le mode d'évacuation des fumées au cours de son refroidissement semblent être des paramètres déterminants pour expliquer l'augmentation du taux de HAP sur le site de l'usine.</p>
<p>2003 Lin (117)</p>	<p>1 UIOM en période de maintenance Prélèvements atmosphériques individuels (nombre exact non précisé) sur 14 opérateurs effectuant le nettoyage et la rénovation des fours d'UIOM en période de maintenance Taiïwan HAP (Acénaphthène, Acénaphthylène, Anthracène, B[a]A, B[b]F, B(k)F, CHRY, Cyclopenta[c,d]pyrène, FLT, Fluorène, Naphtalène, Phénanthrène, Pyrène, Naphtalène)</p>	<p>Exposition respiratoire principalement liées aux HAP en phase gazeuse, et aux HAP dicycliques et tricycliques de faible poids moléculaire</p> <p>Exposition maximale lors du premier nettoyage du four (avant sablage), probablement due à une ventilation préalable insuffisante, et à la stagnation d'une grande quantité de cendres</p> <p><i>L'exposition aux HAP totaux est détaillée par ordre décroissant : Nettoyage du four (avant sablage) (24 µg/m3) > Sablage (18,5 µg/m3) > Mise en place des échafaudages (18,1 µg/m3) > Nettoyage du four (après sablage) (17,7 µg/m3) > Inspection et nettoyage des sacs filtrants (12,8 µg/m3) > Remise en état du four (12, 6 µg/m3) > Surveillance (10,7 µg/m3).</i></p> <p>Niveau de BaP intermédiaire, variable suivant les opérations (21.5-116 ng/m3)</p> <p>Le niveau de toxicité équivalent au Benzo(a)pyrène (BaP_{eq}) varie entre 15 et 303 ng/m3. La principale contribution provient des HAP en phase solide.</p>	

<p>2003 Lu (81)</p>	<p>1 UIOM Prélèvements atmosphériques individuels (nombre total non précisé) <i>Taiwan</i></p> <p><u>Groupe "non exposé"</u> : Opérateurs habituels de maintenance et d'exploitation</p> <p>Groupe exposé : Opérateurs spécialisés effectuant le nettoyage et la rénovation des fours en période de maintenance</p> <p>-Poussières inhalables -Silice cristalline respirable</p>	<p><u>Groupe non exposé (opérateurs habituels de maintenance et d'exploitation)</u></p> <p>Concentration faible de poussière inhalable (0,11±0,06 mg/m3) Concentration de quartz respirable inférieure à la limite de détection</p> <p><u>Groupe exposé (ouvriers spécialisés)</u></p> <p>Résultats détaillés présentés ci-dessous (Shih 2008)</p> <p><i>La teneur en silice cristalline des matériaux réfractaires est importante et augmente après une longue période d'incinération.</i></p> <p><i>Le document décrit un risque de silicose potentiel pour les ouvriers spécialisés qui seraient exposés à des teneurs élevées en silice sur une longue période.</i></p>	
-----------------------------	--	--	--

<p>2003 Maître (74)</p>	<p>2 UIOM (UIOM 1 plus ancienne et prenant en partie en charge des déchets hospitaliers ou des déchets pré triés, UIOM 2 récente) Un site témoin (supermarché dans la même ville, distant de plus de 10km) Prélèvements atmosphériques individuels (16) et à point fixe (20) <i>France (Lyon et Grenoble)</i></p> <p>-Poussières totales et alvéolaires, -Métaux (As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb)</p> <p>-HAP (uniquement UIOM 2) (B(a)A, B(a)P, B(b)F, B(ghi)P, B(k)F, CHRY, Dibenzo(a,h)anthracène, FLT, Pyrène)</p> <p>-COV (Alcane, Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques [HAM] [benzène, toluène, xylènes], Hydrocarbures Chlorés [dichlorométhane], Hydrocarbures Oxygénés, Aldéhydes [Acétaldéhyde, Acroléine, Formaldéhyde, Propionaldéhyde])</p>	<p><u>Poussières</u> (<i>Compte tenu des VLEP actuelles</i>): Niveaux atmosphériques de poussières inhalables et alvéolaires relativement élevés au sein des 2 UIOM (moyennes respectives de 1,45 et 0,39 mg/m³). Niveaux très élevés lors des opérations de maintenance des fours (respectivement 350 et 10 mg/m³). Les principales sources d'émissions sont la trémie d'alimentation des déchets et la fosse à déchets (notamment en poussières inhalables). Des poussières inhalables sont aussi générées lors du transfert et de l'élimination des déchets et résidus. Mesures individuelles de poussières inhalables plus élevées pour les opérateurs de big-bag et les opérateurs de trémie d'alimentation des ordures.</p> <p><u>Métaux</u> : Concentrations plus importantes pour le groupe exposé que pour le groupe témoin pour (moyennes respectives en µg/m³) : le chrome (0,68 contre 0,02), le manganèse (2,67 contre 0,03), le cadmium (0,29 contre 0,001), le plomb (4,73 contre 0,08) et l'arsenic (0,14 contre <limite de quantification). Niveau de nickel similaire (0,10 et 0,09 µg/m³) Les moyennes des concentrations atmosphériques restent cependant toujours inférieures aux VLEP (maximum 8%). L'exposition est maximale lors du transfert et du chargement des résidus solides. Niveau d'arsenic, de cadmium et de plomb maximaux dans la zone de transfert et d'élimination des résidus. Niveau de manganèse maximal près de la fosse à déchets. Niveau de plomb plus élevée dans l'UIOM 1 que dans l'UIOM 2, ce qui est cohérents avec les analyses des résidus (ceux de l'UIOM 2 en contiennent 25% de moins).</p> <p><u>HAP, COV, Aldéhydes</u> Niveaux faibles, comparables à ceux du site témoin Les niveaux sont maximaux près de la fosse à déchets et de la trémie d'alimentation des fours.</p> <p><i>Cette étude reprend une partie des résultats d'une autre étude réalisée en 1997(120), qui mentionne également la présence de <u>monoxyde de carbone</u> à des niveaux importants à proximité des trémies de chargement des déchets sur l'un des deux sites (concentrations moyennes de 24 à 44 ppm)</i></p>	
<p>2004 Hu (114)</p>	<p>3 UIOM récentes <i>Taiwan</i> Dioxines (PCDD/ PCDF)</p>		<p><u>Dioxines</u> : Concentrations moyennes de dioxines de chaque usine comprises entre 0,08 et 3,01 pg I-TEQ/m³. Concentration maximale (7,11 pg/m³) dans un échantillon d'air prélevé dans la soute à REFIOM</p>

<p>2004 Eriksson (96)</p>	<p>Une UIOM Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre total non précisé), au niveau de l'unité mâchefers (tapis convoyeur, table vibrante, conteneurs où les mâchefers sont transférés) <i>Suède (Karlstad)</i> -Poussières totales -Métaux (Al, As, B, Be, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Sn, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zn) -COV -Phosphine (PH3)</p>		<p>Faible niveau d'exposition aux poussières (<0.235 mg/m3), aux COV et aux métaux</p> <p>Niveau de phosphine notable (0,01-0,07 mg/m3), décrit comme relativement faible par rapport aux valeurs limites locales (0.4 mg/m3), mais significatif au regard des VLEP françaises actuelles (0,14 mg/m3)</p> <p><i>Le document mentionne une autre étude antérieure, où des taux de phosphine élevés ont été détectés à proximité du convoyeur de la chaîne mâchefer (jusqu'à 0,84 mg/m3)</i> <i>Dans une enquête réalisée auprès du personnel, des malaises et des nausées ont été décrits en cas de travail prolongé sur la table vibrante. Il est possible que la phosphine en soit la cause.</i></p>
<p>2004 Hemon-D elsaux (115)</p>	<p>Plusieurs UIOM 45 résultats pour des UIOM en fonctionnement, 11 résultats pour des UIOM à l'arrêt <i>Compilations des résultats de plusieurs prélèvements réalisés aux seins d'UIOM réalisés par un laboratoire de toxicologie (Grenoble)</i> <i>France</i> HAP</p>	<p>Niveau d'exposition relativement faible aux HAP, et similaire dans les UIOM en marche et à l'arrêt Niveau médian de HAP cancérogènes respectivement de 4.04 et 4.91 ng/m3 Niveau médian de B(a)P respectivement de 0.66 et 0.68 ng/m3</p> <p>Dans les UIOM en marche, niveau médian de HAP totaux de 801,09 ng/m3; niveau médian de B(a)P_{eq} de 3,87 ng/m3</p>	

<p>2005 Tolvanen (101)</p>	<p>Une UIOM Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre total non précisé), <i>Finlande (Turku)</i> -Poussières totales -Fibres (longueur d'au moins 5 µm, diamètre maximal de 3 µm, rapport longueur/diamètre d'au moins 3:1)</p>		<p><u>Poussières :</u> Concentration de poussières maximale dans le hall de déchargement des déchets (moyenne de 3,3 mg/m³). Dans les autres lieux de mesure (salle de commande du grappin et zone de combustion), les concentrations de poussière sont faibles (moyennes <0,5 mg/m³)</p> <p><u>Fibres:</u> Concentration de fibres très faible (<0,015 fibres/m³) dans tous les lieux mesurés (bureaux, zones fours, bassin mâchefer, commande du grappin)</p> <p><i>L'étude s'intéresse aussi à l'exposition aux endotoxines, qui est maximale dans le hall de déchargement (non développé)</i></p>
<p>2006 Raemdonck(102)</p>	<p>Une UIOM fermée, en cours de maintenance Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre total non précisé), <i>Belgique</i> Poussières totales</p>		<p><u>Poussières :</u> Niveau très élevé de poussières totales (22,2-71,8 mg/m³) lors des travaux de nettoyage et de maintenance de l'UIOM. Il s'agit essentiellement de poussière de gros diamètre (68% >PM10; 16% entre PM2.5 et PM10; 10% entre PM1–et PM2.5; 6% <PM1)</p>
<p>2006 Shih (112)</p>	<p>Deux UIOM Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre total non précisé) <i>Taiïwan</i> Dioxines (PCDD/ PCDF) <i>Comparaison des mesures réalisées sur le lieu de travail avec des mesures d'air ambiant réalisées à 500m des UIOM</i></p>		<p><u>Dioxines :</u> Concentration de dioxines 5 à 15 fois plus élevée lors des mesures réalisées dans les 2 UIOM (0,126-2,26 pg TEQ/m³) par rapport aux mesures réalisées à proximité de l'UIOM (0,0216-0,155 pg TEQ/m³) Certains congénères de dioxines sont retrouvés de façon plus importante</p> <p>Les concentrations de dioxines sont maximales dans le hall de stockage des cendres résiduelles et l'unité d'humidification des cendres</p> <p><i>En pulvérisant de l'eau et en mouillant les cendres volantes et résiduelles, la concentration moyenne totale de dioxines a été réduite de presque 90% dans une des deux UIOM.</i></p>

<p>2008 Shih (118)</p>	<p>Une UIOM <i>Taiwan</i> <i>Même cohorte que Lu 2003(81)</i> Prélèvements atmosphériques individuels (nombre non précisé) parmi les opérateurs effectuant le nettoyage et la rénovation des fours en période maintenance, répartis en 7 groupes d'exposition suivant leurs tâches effectuées -Poussières inhalables -Silice cristalline respirable <i>Analyses par diffraction des rayons X pour identifier les composés</i></p>	<p><u>Poussières inhalables:</u> Exposition importante pour les salariés, en particulier lors du nettoyage des cendres En tenant compte des 7 groupes d'exposition, les expositions sont classées par ordre décroissant (<i>moyenne</i>): Nettoyage des cendres résiduelles (9,21 mg/m³)> Démolition des murs endommagés (2,72 mg/m³)> Sablage (1,21 mg/m³)> Réfection du ciment réfractaire> Réparation des grilles du four par soudage> Mise en place d'échafaudages > Autres (supervision) <u>Silice cristalline:</u> Seul le quartz est identifié comme composé de silice cristalline. Exposition importante pour l'ensemble des salariés (moyenne de chaque groupe d'exposition située entre 0,04 et 0,578 mg/m³). La très grande majorité des échantillons respiratoires individuels dépasse la valeur limite locale. En tenant compte des 7 groupes d'exposition, les expositions à la silice (quartz) sont classées par ordre décroissant : Sablage > Nettoyage des cendres > Démolition de murs > Réfection du ciment réfractaire > Autres > Réparation de grille > Mise en place d'échafaudages <i>Pas de relation entre les niveaux d'exposition au quartz respirable et aux poussières inhalables</i></p>	
<p>2008 Wu (159)</p>	<p>Une <i>usine de traitement des mâchefers</i> (issus d'UIOM), dont les salariés sont répartis en 3 groupes différents: ouvriers sur site, personnel encadrant, personnel administratif Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre non précisé) <i>Taiwan</i> Métaux (Cd, Cr, Ni, Pb)</p>	<p><u>Métaux :</u> Teneur en métaux des poussières alvéolaires très inférieure à la norme légale (<i>valeurs non précisées</i>) Absence de différence significative dans la teneur en métaux des poussières alvéolaires entre les différents groupes de salariés La teneur en métaux des poussières alvéolaires est cependant plus élevée dans certaines zones non exploitées que dans les zones exploitées et les ouvriers peuvent transporter des poussières sur leurs vêtements vers les locaux administratifs.</p>	

<p>2012 Institute of Occupation al Medicine (103)</p>	<p>Estimation des niveaux d'exposition aux poussières inhalables au sein des UIOM suivant les activités</p>	<p>Niveaux d'exposition estimés <0,1 mg/m³ en routine pour une UIOM moderne avec un process entièrement clos et pour des opérations de routine. Niveau entre 0,5 et 1 mg/m³ en période de maintenance Niveaux pouvant atteindre 9 mg/m³ en cas de nettoyage à l'air comprimé, et de 50 à 1000 mg/m³ en cas de nettoyage et d'entretien dans des espaces confinés.</p>	
<p>2012 RECORD (98)</p>	<p>Une UIOM Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre non précisé) <i>Résultats transmis par une entreprise spécialisée dans l'incinération des déchets ménagers, en divers postes et zones de travail, de 2002 à 2010</i> France Métaux (Cd, Cr [dont Cr VI], Ni)</p>	<p><u>Cadmium (compte tenu des nouvelles VLEP)</u> -Taux élevés (0,008-0,015 mg/m³) sur un prélèvement (agent de maintenance intervenant dans un refroidisseur en phase d'arrêt technique) -Taux intermédiaires à élevés (0.0005-0,003 mg/m³) sur certains prélèvements (agent de maintenance intervenant en phase d'arrêt technique dans un four, conducteur d'engin en zone mâchefers; conduite/maintenance/nettoyage d'une installation de traitement des mâchefers; transport, évacuation et stockage de REFIOM) <u>Chrome</u> Valeurs faibles sur l'ensemble des mesures (<0,02 mg/m³) <u>Nickel</u> Valeurs faibles sur l'ensemble des mesures (<0,0056 mg/m³)</p>	<p><u>Cadmium :</u> Concentrations en général inférieures aux limites de quantification dans les diffèrents locaux (<i>sous réserve que ces valeurs soient parfois supérieures aux VLEP actuelles</i>) <u>Chrome métal :</u> Valeurs faibles pour la majorité des mesures (<0,03 mg/m³) Valeurs notables (0,235-0,31 mg/m³) sur deux mesures (trémies d'alimentation des fours, ateliers) <u>Chrome hexavalent:</u> Valeur élevée (0,05 mg/m³) sur une mesure (ateliers) Valeurs plus faibles sur les autres (<0,004 mg/m³) <u>Nickel</u> Valeurs faibles pour la majorité des mesures (<0,004 mg/m³) Valeurs intermédiaires (0,15-0,35 mg/m³) sur deux mesures (chaudières en période d'arrêt technique, ateliers)</p>
<p>2016 Li (113)</p>	<p>Une UIOM Prélèvements atmosphériques à point fixe (nombre total non précisé) Chine Dioxines (PCDD/ PCDF) <i>Comparaison avec des mesures atmosphériques réalisées dans des villages voisins</i></p>		<p><u>Dioxines:</u> Niveau dans l'air extérieur des UIOM (0,137–0,177 pg I-TEQ/m³) presque deux fois plus élevé que dans l'air extérieur des villages voisins (0,056–0,107 pg I-TEQ/m³), mais restant cependant inférieurs aux recommandations sur la qualité de l'air proposées par le Japon (0,6 pg TEQ/ m³)</p>
<p>2021 Bena (97)</p>	<p>Une UIOM Prélèvements atmosphériques individuels et à point fixe (nombre total non précisé) Italie (Turin) Métaux (As, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Ni, Pb, Se, V, Zn) <i>Les prélèvements ont été effectués à trois moments (T0 [usine encore en phase de construction, T1, T2)</i></p>	<p><u>Métaux :</u> Valeurs faibles, inférieurs à 1% des normes de référence de l'ACGIH <i>Pas de détails complémentaires</i></p>	<p><u>Métaux :</u> Concentrations inférieures au seuil de détection pour la plupart des zones de l'usine <i>Pas de détails complémentaires</i></p>

PÉRIODE ARRÊT TECHNIQUE	Poussières inhalables	Poussières alvéolaires	Aluminium	Antimoine	Arsenic	Cadmium	Calcium	Chrome	Cobalt	Cuivre	Fer	Manganèse	Nickel	Plomb	Titane	Vanadium	Zinc	Chrome hexavalent	Benz[a]pyrène	Acides minéraux	Ammoniac	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	COV	Benzène	Fibres céramiques et amiante	Monoxyde de carbone	Endotoxines	Bactéries et mésophiles	Moisissures mésophiles										
	ZONES D'INTÉRÊT (SUITE)																																							
VI. REFIOM et cendres																																								
Réacteur – évacuation des gravats	■							■																																
IX. Locaux annexes																																								
Salle de contrôle – ambiance générale																																								
Atelier – usinage de pièces métalliques																		■																						
X. Installation de traitement des mâchefers																																								
Unité de traitement des mâchefers – nettoyage																																								

Annexe n° 5 : Résumé des études mentionnant la réalisation de dosages biologiques chez des salariés d'UIOM

Date; Auteur principal	Sujet inclus/ Sites étudiés Localisation	Champ d'application de la recherche Éléments recherchés	Résultats notables
1981 Pudill (151)	- 38 ouvriers d'une UIOM (combinée à une usine de traitement des boues d'épuration) - 33 sujets donneurs de sang sains (groupe contrôle) <i>Allemagne</i>	<u>Métaux:</u> Ca[sg], Cd[sg], Mg[sg], Pb[sg], Zn[sg] <u>Biologie:</u> Numération Formule Sanguine (NFS), plaquettes	-Cadmémie significativement plus élevée chez les ouvriers d'UIOM par rapport à la population témoin (respectivement 5,3 µg/L et 4,1 µg/L). 3 salariés ont une cadmémie > 10 µg/L -Plombémie augmentée de manière non significative chez les ouvriers (237 contre 187 µg/L). 6 salariés ont une plombémie supérieure à 350 µg/L (une mesure comprise entre 450 et 500 µg/L) -Pas de corrélation entre les valeurs élevées de plomb et de cadmium Aucune différence significative pour les concentrations de calcium, de magnésium et de zinc <i>Les auteurs mentionnent que les taux de plomb et de cadmium chez 25 salariés administratifs du site (travaillant à distance de l'incinérateur) sont similaires au groupe témoin</i> <u>Biologie:</u> Résultats hématologiques similaires <i>Limite: Groupe non appariés, pas de prise en compte des facteurs confondants (tabagisme, âge), postes de travail non détaillés</i>
1985 Reimann (154)	47 salariés d'UIOM <i>Allemagne</i>	<u>Métaux:</u> Cd[sg], Hg[sg], Pb[sg]	Médiane de concentrations du cadmium, mercure et plomb des salariés estimée au même niveau que celle de la population générale (Plombémie médiane à 110 ug/L, pas de données pour le mercure et le cadmium) Cadmémie élevée uniquement chez les salariés fumeurs de plus de 20 g de tabac par jour.
1990 Scarlett (170)	-104 salariés de 7 UIOM - 61 salariés travaillant dans 11 unités de traitement d'eau (groupe contrôle) <i>États-Unis</i>	<u>Mutagénicité:</u> Détermination de la mutagénicité des urines à l'aide du test d'Ames	-Prévalence significativement plus élevée des niveaux de pro-mutagènes urinaires (11,5 vs 1,6 %) et de mutagènes urinaires (18,3 vs 3,3 %) chez les travailleurs d'UIOM -L'absence de port de gants est un facteur de risque d'avoir un haut niveau de pro mutagénicité urinaire. -Le fait d'être employé dans la réparation des équipements, et/ou de porter un vêtement de protection (autres que masques ou gants) est un facteur de risque d'avoir un haut niveau de mutagénicité urinaire.

<p>1991 Schecter (123)</p>	<p>- 56 salariés de 3 UIOM - 14 sujets appariés par sexe et par âge (groupe contrôle) <i>États-Unis (New York)</i></p>	<p><u>Dioxines</u>: Mesure du niveau de dioxines d'un échantillon groupé issu de prélèvement sanguin des salariées d'UIOM , et comparaison à celui de l'échantillon groupé du groupe témoin</p> <p><i>Résultats indiqués selon le système d'Equivalence Toxique International (I-TEQ) mis au point par l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (OTAN)</i></p> <p><i>Les niveaux des différents congénères retrouvés sont détaillés</i></p>	<p>Niveau moyen de dioxines totales 30% plus élevé dans l'échantillon des salariés (21,9 vs 16,8 pg I-TEQ/g de lipide)</p> <p>Similarité entre les profils de congénère des dioxines dans le sang des travailleurs et dans les cendres de l'incinérateur</p>
<p>1992 Angerer (160)</p>	<p>- 53 salariés d'une UIOM - 431 sujets vivant dans la région, non exposés professionnellement (groupe contrôle) <i>Allemagne</i></p>	<p><u>COV</u>: Benzène [sg] <u>HAP</u>: 1-Hydroxypyrene (1-OHP)[u] <u>Chlorophénols</u> [u]: Mono [MCP], Di [DCP], Tri[TCP], Tetra [TECP], Penta [PCP]chlorophénols <u>Polychlorobiphényles</u> (PCB)[u] <u>Hexachlorobenzène</u> (HCB)[u]</p>	<p>Dans l'ensemble, valeurs faibles et en deçà des valeurs décrites dans la littérature pour des sujets non exposés professionnellement.</p> <p>Niveaux significativement plus élevés chez les salariés de 1-OHP, de HCB, et de certains types de chlorophénol</p> <p>Niveaux significativement plus élevés chez les témoins de certains types de chlorophénols</p>
<p>1992 Bresnitz (78)</p>	<p>86 salariés masculins d'une UIOM, divisés en 2 groupes selon leur niveau d'exposition estimé (faible ou fort) <i>États-Unis (Philadelphie)</i></p>	<p><u>Métaux</u>: As[u], Cd[u], Hg[sg, u], Pb[sg, u] Indicateur d'effets précoces d'une exposition au Pb (ProtoPorphyrine liée au Zinc [PPZ]) <u>Biologie</u>: NFS, Plaquettes, ASAT, ALAT, PAL, Bilirubine, Créatinine, Urée, recherche de protéines dans les urines</p>	<p>-Valeurs moyennes des tests sanguins et urinaires dans la fourchette normale des laboratoires pour les deux groupes, en dehors d'une plus forte prévalence de protéinurie (31%) chez l'ensemble des salariés, comparée à la prévalence attendue dans la population nationale, sans que cela ne soit lié au niveau d'exposition (facteurs de confusion probables)</p> <p>-Pas de différences statistiquement significatives entre les 2 groupes, en dehors du taux d'As[u] plus élevé dans le groupe à forte exposition, lié à 2 individus ayant des taux d'arsenic élevés (facteurs de confusion alimentaire possible)</p> <p>-8 biométries (sur 471) sont au-dessus de la fourchette normale du laboratoire, dont un soudeur avec un niveau élevé de PPZ et de zinc[sg] et deux ouvriers ayant été fortement exposés lors du nettoyage des conduits et du balayage des fours (taux élevé de PPZ pour l'un, et de mercure[sg] pour l'autre)</p>

<p>1992 Malkin (152)</p>	<p>- 56 salariés de 3 UIOM - 25 salariés d'installations de traitement de l'eau (groupe contrôle) <i>États-Unis (New York)</i></p>	<p><u>Métaux:</u> Pb[sg], PPZ</p>	<p>Plombémie moyenne significativement plus élevée que les témoins (110 µg/L vs 74 µg/L). Valeurs individuelles des salariés situées entre 52 et 287 µg/L, restant inférieures à la limite maximale américaine sur le lieu de travail de 400 µg/L. Facteurs de risque significatifs identifiés : non-port d'un dispositif de protection individuelle, fréquence élevée de nettoyage des électrofiltres Niveau de PPZ plus faible que dans le groupe contrôle</p>
<p>1993 Ma (171)</p>	<p>- 37 salariés de 4 UIOM aux États-Unis ; - 35 salariés d'installations de traitement de l'eau (groupe contrôle) <i>États-Unis</i></p>	<p><u>Mutagénicité:</u> Détermination de la mutagénicité des urines à l'aide du test d'Ames <i>Trois séries de mesures réalisées sur trois périodes de temps différentes</i></p>	<p>-Activité mutagène significativement plus importante dans les urines de salariés d'UIOM lors de la première série d'échantillons (21,6 vs 5,7%) , mais non différente pour la deuxième et la troisième série d'échantillons -Faible répétabilité de la mise en évidence des mutagènes urinaires chez les salariés d'UIOM, suggérant une exposition très variable, et/ ou une modification des pratiques de travail ayant influencé les résultats des tests urinaires des 2ème et 3ème séries <i>La présence de mutagènes dans l'urine des travailleurs des incinérateurs n'établit pas en soi que des mutations ont lieu ni qu'il existe un risque de cancer plus important</i></p>
<p>1993 Päpke (127)</p>	<p>- 10 salariés d'une UIOM - 102 sujets (groupe contrôle) <i>Allemagne</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Mesure du niveau de dioxines (PCDD/PCDF)[sg] de chaque salarié, comparaison à l'ensemble des échantillons regroupés du groupe témoin <i>I-TEQ (OTAN)</i></p>	<p>Pas de différence significative entre les 2 groupes dans le niveau moyen de dioxines (environ 40 pg I-TEQ/ g de lipide) Les mécaniciens de maintenance semblent présenter un niveau de dioxines plus élevé. Certains congénères de dioxines retrouvés dans les résidus d'incinération sont plus élevés dans le sang des travailleurs.</p>
<p>1994 Donghi (90)</p>	<p>31 salariés d'une UIOM <i>Italie</i></p>	<p><u>Métaux:</u> As[u], Cd[sg], Cr[u], Hg[u], Pb[sg] <i>Prélèvements réalisés en fin de la semaine de travail</i></p>	<p>Concentrations de métaux inférieures aux limites considérées pour la population professionnellement exposée et comparables à celles de la population générale. <u>Plomb [sg]:</u> Moyenne de 113 µg/L (30-330 µg/L). Plombémie plus élevée chez les agents de nettoyage (165 µg/L) et les agents d'exploitation et de maintenance (125 µg/L) <u>Cadmium[sg]:</u> Moyenne de 0,7 µg/L (0,1-2,6 µg/L). Cadmiémie plus élevée chez les agents de nettoyage (1,7 µg/L) et les agents de maintenance (1,15 µg/L) <u>Arsenic[u]:</u> Moyenne de 10,2 µg/g créat (4.8-26.2 µg/g créat) (<i>VBI américaine (ACGIH) de 35 µg/g créat.</i>)</p>

<p>1995 Neumann (128)</p>	<p>- 51 salariés de 3 UIOM, divisés en 4 sous groupes: 11 employés administratifs, 10 employés à la réception des déchets/grutiers, 23 personnels de chaufferie, 10 ouvriers - Groupe témoin de 44 personnes (non appariés), représentatif de la population générale <i>Allemagne</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN)</p>	<p>-Après prise en compte des différences d'âge entre les deux groupes, le niveau moyen de dioxines des travailleurs est estimé similaire à celui du groupe témoin (moyennes des sous groupes de travailleurs entre 30.65 et 35.78 pg I-TEQ/g de lipide, contre 26 pg I-TEQ/g de lipide pour le groupe témoin) -Taux de dioxines légèrement plus élevé chez les ouvriers par rapports aux autres groupes d'employés (35,78 pg I-TEQ/g de lipide) Existence de taux plus élevés de certains congénères de dioxines chez certains salariés</p>
<p>1995 Schechter (129)</p>	<p>- 10 salariés d'une UIOM ancienne - 11 salariés d'une UIOM récente - 25 salariés de la population générale allemande appariés par sexe et par âge aux salariés du premier groupe (groupe contrôle) <i>Allemagne</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Étude de la concentration sanguine en dioxines de 10 congénères de PCDD et PCDF dans chaque groupe <i>I-TEQ (OTAN)</i></p>	<p>-Pas de différence significative du taux moyen de dioxines totales entre les 3 groupes (34-43 pg I-TEQ/g de lipide) -Taux significativement plus élevé de certains congénères de dioxines chez les salariés de l'ancienne UIOM, avec un profil de congénères de dioxines proche de celui des REFIOM -Différence non retrouvée pour les salariés de la nouvelle UIOM, ce qui semble lié à l'efficacité des évolutions technologiques</p>
<p>1996 Van den Hazel (130)</p>	<p>- 4 salariés d'UIOM travaillant au contact de REFIOM - 5 personnes vivant à proximité d'une UIOM - 10 salariés travaillant à proximité d'une UIOM <i>Pays-Bas</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN)</p>	<p>-Pas de différence significative du taux moyen de dioxines totales entre les 3 groupes (31,4-38,3 pg I-TEQ/g de lipide) -Pour les salariés d'UIOM, taux significativement plus élevé de certains congénères de dioxines. Profil de congénères des dioxines proches de celui des REFIOM</p>

<p>1997 Hoffman (99)</p>	<p>Nombre indéterminé de salariés de 10 UIOM, soumis à des biométries périodiques États-Unis</p>	<p><u>Métaux:</u> Cadmium [sg,u], Plomb [sg] Indicateurs d'effets précoces d'une exposition au cadmium (Bêta 2 microglobuline urinaire [β2-M u]) et au plomb (PPZ)</p>	<p><u>Pb:</u> Niveau en général faible, malgré quelques mesures plus élevées 73,7% des résultats <100 µg/L; 22% compris entre 100 et 200 µg/L; 3,9% compris en 200 et 300 µg/L; 0,4% compris entre 300 et 350 µg/L. <i>Les six analyses > 300 µg/L correspondent à des travailleurs ayant une barbe, ce qui peut diminuer l'efficacité des appareils respiratoires à pression négative, et/ou qui ne se lavaient pas les mains et le visage avant de manger, boire ou fumer.</i></p> <p><u>PPZ: Cadmium ([sg], [u]), β2-M [u]:</u> Niveaux faibles pour la quasi-totalité des mesures <i>Les auteurs concluent que l'utilisation d'équipements de protection individuelle (respirateurs à épuration d'air équipés de filtres à particules, combinaisons de protection, gants) et les pratiques de travail (formation annuelle des employés, douches, lavabos) sont efficaces pour contrôler l'exposition.</i></p>
<p>1998 Lello (153)</p>	<p>- 9 salariés (employés depuis plus de 10 ans) d'une UIOM relativement ancienne, incinérant également des déchets industriels et médicaux - 6 sujets témoins (groupe contrôle) Italie (Pietrasanta)</p>	<p><u>Métaux:</u> Pb[sg] <u>Mutagenicité:</u> Détermination de la mutagenicité des urines à l'aide du test d'Ames</p>	<p>Plombémie médiane significativement plus élevée dans le groupe des salariés que dans le groupe témoin (respectivement 280 µg/L [160-430 µg/L] et 110 µg/L [70-180 µg/L]) (résultats similaires en distinguant les fumeurs/ non-fumeurs)</p> <p>-Absence de mutagenicité observée dans les urines des salariés non fumeurs d'UIOM lors test simple sur Salmonella typhimurium TA 98 -Lors de l'ajout d'un mélange "S-9" (simulant l'effet du métabolisme des cellules), il existe des différences significatives, dues à un effet biotoxique limité, par rapport aux contrôles du même type. <i>Les auteurs estiment néanmoins que les résultats ne prouvent pas un effet mutagène environnemental et suggèrent que des recherches complémentaires sont nécessaires pour évaluer les dommages génétiques probables.</i></p>
<p>1999 Schechter (82)</p>	<p>2 salariés d'une UIOM ancienne et leurs femmes Comparaison avec le taux moyen de la population japonaise Japon</p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] Résultats indiqués en niveau d'équivalence totale (TEQ) selon le système de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est légèrement différent du système de l'OTAN</p>	<p>Niveaux très élevés de dioxines chez deux travailleurs d'UIOM (360 et 278 pg TEQ/ g de lipide, pour une moyenne de 24 pg TEQ/ g de lipide pour la population japonaise) La femme du travailleur ayant le niveau de dioxines le plus élevé a également un niveau de dioxines élevé (98 pg TEQ/ g de lipide), ce qui pourrait être lié à l'exposition aux résidus d'incinération lors du nettoyage des vêtements de travail de son mari, ou à une contamination externe</p>

<p>1999 Tong (94)</p>	<p>103 salariés de 3 UIOM, divisés en 3 groupes suivant leur travail: exploitation (52), maintenance (35), gestion (16) <i>Taiïwan</i></p>	<p><u>Métaux:</u> Cd[u], Cr[u], Ni[u],Pb[sg]</p>	<p>Niveau de Pb[sg] bas (moyenne de chaque groupe inférieure à 50 µg/L)</p> <p>Taux de Cd[u] supérieur à l'indice l'Indice Biologique d'Exposition (IBE) de 5 µg/g creat sur 7 échantillons (entre 6,9 et 44 µg/g creat, principalement des ouvriers de maintenance et mécaniciens)</p> <p>Taux de Cr[u] supérieur à l'IBE de 10 µg/g creat sur 5 échantillons (entre 10,5 et 19,6 µg/g creat) <i>(valeurs non détaillées)</i></p>
<p>2000 Cheng (119)</p>	<p>-6 pontiers d'une UIOM ("poste cendre") -Travailleurs externes contractuels, opérant au sein des fours, pour des travaux de maintenance annuels (nombre non précisé) <i>Taiïwan</i></p>	<p><u>HAP:</u> 1-OHP[u] -Mesures réalisées sur une journée, en début et fin de poste pour les 6 pontiers -Mesures réalisées pendant plusieurs jours consécutifs pour les travailleurs externes</p>	<p>Exposition aux HAP des opérateurs d'incinérateurs et des travailleurs externes estimée acceptable (valeurs de 1-OHP inférieures à 1 µmol/mol de créatinine)</p> <p><u>Pontiers (poste "cendre")</u></p> <p>Taux de 1-OHP faible (moyenne <0,08 µmol/mol de créat) et stable après une journée de travail</p> <p><u>Salariés de maintenance externes:</u></p> <p>Concentration moyenne de 1-OHP plus élevée que celle des pontiers (environ 4 fois plus), surtout lors des premiers jours d'exposition</p> <p>Tendance à la diminution du taux de 1-OHP au fur et à mesure du temps</p> <p>Existence de fluctuations, probablement dues aux variations métaboliques intra et inter-individuelles, à la variabilité des opérations, et à l'irrégularité du port de la protection respiratoire utilisée. Les concentrations restent supérieures à celles des pontiers 17 jours après le début des travaux.</p> <p><i>Fréquence variable du port de protection respiratoire par les travailleurs externalisés, type de masque utilisé non approprié</i></p>
<p>2000 Gonzalez (131)</p>	<p>-17 salariés d'une UIOM nouvellement mise en exploitation -104 riverains habitant à moins de 1,5 km de l'UIOM, - 97 riverains habitant de 1,5 à 4 km de l'UIOM, appariés au premier groupe de riverains <i>Espagne (Matarò)</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF/PCB[sg] I-TEQ (OTAN) <u>Métaux:</u> Cd[sg], Cr[u], Hg[u], Pb[u] 2 campagnes de mesures: avant le début d'exploitation de l'UOM, puis 2 ans après</p>	<p>Légère augmentation du taux de PCDD/PCDF dans le sang des salariés sur 2 ans (de 13,9 à 15,7 pg I-TEQ/g de lipide), mais inférieure à celle des 2 groupes de riverains et attribuée par les auteurs au vieillissement de la cohorte</p> <p>Diminution du taux de PCB</p> <p>Pas de variation des concentrations de métaux</p>

<p>2000 Kitamura (75)</p>	<p>92 salariés d'une UIOM, fermée suite à la découverte d'émissions atmosphériques élevées de dioxines et d'une contamination importante aux dioxines des terres voisines <i>Japon</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/ PCDF/PCB[sg] <i>TEQ(OMS)</i> <u>Biologie:</u> NFS, plaquettes, ASAT, ALAT, GGT, Bilirubine, CPK, LDH (Lactate DésHydrogénase), Amylasémie, Cholestérol (Total et LDL), Triglycéride (TG), Protéines Totales, Albumine, Créatinine, Acide urique, Glucose, CRP, Sodium, Potassium, Ca, Fer et Phosphate Inorganique) <u>Bilan immunologique</u> (marqueurs lymphocytaires, mesure de l'activité Natural Killer (NK), étude de la réponse à la stimulation lymphocytaire par Phytohématagglutinine (PHA) et Concanavalline A (Con A))</p>	<p>-Niveau élevé de dioxines (de 13,3 à 805,8 pg TEQ/g de lipide; moyenne de 93,5 pg TEQ/g de lipide). Niveau >200 pg TEQ/g de lipide pour 10 salariés. -Similarité du profil des dioxines dans les échantillons biologiques et dans les échantillons de sol autour de l'incinérateur -Activité de nettoyage de l'intérieur de l'incinérateur et contact avec les cendres volantes associées à des niveaux plus élevés de dioxines -Pas d'association significative entre les niveaux de dioxines et la plupart des paramètres biochimiques -Corrélation significative positive entre le niveau de dioxines et l'activité des cellules tueuses naturelles (NK) -Corrélation significative négative entre le niveau de dioxines et la réponse à la stimulation par PHA</p>
<p>2000 Kumagai (132)</p>	<p>- 30 salariés de 3 UIOM fonctionnant de manière continue (10 salariés par UIOM) - 30 travailleurs témoins, habitant la même zone géographique (10 témoins pour chaque UIOM; groupe contrôle) <i>Japon</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] <i>I-TEQ(OTAN)</i></p>	<p>Pas de différence significative entre les concentrations sanguines des travailleurs et des témoins (niveau moyen de dioxines pour chaque groupe entre 19.2 et 28.8 pg I-TEQ/g de lipide) Un congénère de dioxines est significativement plus élevé chez les travailleurs , et augmente avec la durée de l'emploi.</p>
<p>2000 Ministère du travail (Japon) (150)</p>	<p>35 salariés impliqués dans des travaux de démolition d'une UIOM vétuste <i>Japon</i></p>	<p><u>Dioxines:</u>PCDD/PCDF[sg] <i>I-TEQ (OTAN)</i></p>	<p>Concentrations en dioxines très élevées (entre 52,4 et 5380,6 pg I-TEQ/g de lipide). La moyenne est de 680,5 pg-TEQ/g lipide, soit environ 20 fois le taux habituel.</p>

<p>2001 Manrique (100)</p>	<p>4 salariés effectuant des travaux de nettoyage des fours d'une UIOM lors d'une période d'arrêt technique (concassage manuel des résidus le long des conduites de la chaudière, raclage des grilles de combustion du four, extraction des résidus du four, nettoyage et balayage de l'atelier) <i>France (Grenoble)</i></p>	<p><u>HAP:</u> (1-OHP)[u] <i>Prélèvements urinaires effectués pendant les 2 jours de l'intervention à différents moments de la journée (4h, 6h, 11h, 16h, 20h)</i></p>	<p>Niveau similaire à celui d'une population non exposée et stable au cours du temps (niveau <0,5 µmol/mol de créat) <i>Les auteurs concluent à l'efficacité des moyens de protection mis en place (combinaisons, gants et masques respiratoires de type P2).</i></p>
<p>2002 Hu (76)</p>	<p>122 salariés d'une UIOM, répartis en 2 groupes suivant leur exposition: -50 salariés groupés dans le groupe "exposés" (exploitation et maintenance) -72 salariés regroupés dans le groupe "non exposés" (autre salariés) <i>Taiwan (Taichung)</i></p>	<p><u>Métaux:</u> As[sg], Cd[sg], Hg[sg], Pb[sg] <u>Bilan biologique sanguin:</u> NFS, Plaquettes, ASAT, ALAT, GGT, Bilirubine Totale, LDH, CPK, Albumine, Globuline, Cholestérol Total, TG, Glycémie, Acide Urique, Créatinine, Urée, Immunoglobuline (Ig) G, E, M, etc.</p>	<p><i>Après ajustement des facteurs de confusion (durée de l'emploi, âge, sexe, tabagisme)</i> Niveaux d'arsenic et de cadmium significativement plus élevés pour le groupe exposé, mais niveau de plomb significativement plus faible (<i>valeurs non précisées</i>) Niveaux de mercure similaires entre les deux groupes Pas de corrélation statistiquement significative entre la durée de l'emploi dans l'UIOM et les concentrations sanguines de métaux -Niveau significativement plus faible d'acide urique, de globuline (<i>type non précisé</i>) et de bilirubine totale pour le groupe exposé -Niveau de cadmium dans le sang significativement associé à des niveaux plus élevés de triglycérides et de GGT</p>
<p>2002 Kumagai (133)</p>	<p>- 20 salariés de 3 UIOM fonctionnant de manière intermittente (entre 6 et 7 salariés par UIOM) - 20 salariés habitant la même zone géographique (entre 6 et 7 chaque UIOM; groupe contrôle) <i>Japon</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] <i>TEQ (OMS)</i></p>	<p>Pas de différence significative entre les niveaux moyens de dioxines totales des 2 groupes (19.3-24.9 pg I-TEQ/g de lipide) Certains congénères de dioxines augmentent avec l'exposition professionnelle.</p>

<p>2002 Wu (147)</p>	<p>31 travailleurs contractuels de maintenance de 3 UIOM effectuant le nettoyage et l'entretien des fours pendant une période d'arrêt technique (nettoyage des cendres et des mâchefers dans l'incinérateur, entretien de la tuyauterie et des instruments, etc.) 254 riverains Taiwan</p>	<p><u>Prise de sang avant et après exposition</u> <i>Pour l'UIOM 1, les analyses pré exposition n'ont pu être réalisées</i></p> <p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] TEQ (OMS) <u>Biologie:</u> Glycémie, Protéines totales, Albumine, Cholestérol, TG, ASAT, ALAT, PAL, GGT, Bilirubine, Urée, Créatinine, Thyroïdostimuline (TSH), T3, T4, Testostérone, Oestradiol <u>Tests immunologiques:</u> Identification de certains lymphocytes (CD3, CD4, CD8, CD23, CD25, CD26)</p>	<p><u>Dioxines:</u> Niveau moyen de dioxines totales similaire entre les salariés des 3 UIOM (20,5-26,4 pg TEQ/g de lipide), et légèrement supérieur à celui des riverains (14-16,2 pg TEQ/g de lipide). Pas d'augmentation du taux de dioxines après exposition Niveau de dioxine corrélé de manière significative à l'âge des salariés et au nombre d'années de travail <i>L'étude de cas de 5 salariés présentant des taux élevés de dioxines retrouve que l'absence de port de protection peut contribuer à une élévation du niveau de dioxines dans le sang.</i></p> <p><u>Étude avant/ après exposition (UIOM B et C):</u> -Diminution significative de certains paramètres biochimiques (Glycémie, Protéines Totales, Albumine, Créatinine, Urée, Cholestérol, PAL, GGT, Oestradiol) -Augmentation significative de certaines populations lymphocytaires (CD3+/CD8+ et CD3+/CD25+)</p>
<p>2003 Dongshen g (148)</p>	<p>20 travailleurs contractuels de maintenance de 2 UIOM effectuant le nettoyage et l'entretien des fours pendant une période d'arrêt technique (nettoyage des cendres et des mâchefers dans l'incinérateur, entretien de la tuyauterie et des instruments, etc.) Taiwan</p>	<p><u>Prise de sang avant et après exposition</u> <u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN) <u>Biologie:</u> Glycémie, Protéines totales, Albumine, Urée, Créatinine, Cholestérol, TG, ASAT, ALAT, PAL, GGT, Bilirubine, TSH, T3, T4, Testostérone, Oestradiol <u>Tests immunologiques:</u> Identification de certains lymphocytes (CD3, CD4, CD8, CD23, CD25, CD26)</p>	<p><u>Dioxines:</u> Niveau moyen de dioxines totales similaire entre les salariés des 2 UIOM (13,8-18,4 pg I-TEQ/g de lipide), et légèrement inférieur au niveau des riverains (19,8 pg I-TEQ/g de lipide, selon résultats d'une étude locale) -Après exposition, augmentation significative du taux de dioxines (13,8 puis 18,4 pg I-TEQ/g de lipide pour l'UIOM A; 14,9 puis 18,1 pg I-TEQ/g de lipide pour l'UIOM B), avec une modification significative de la répartition des congénères de dioxines</p> <p><u>Étude avant/ après exposition</u> -Augmentation significative des taux de T3, T4; diminution significative du taux d'oestradiol. Les taux restent cependant dans la fourchette normale attendue. -Augmentation non significative de certains paramètres biochimiques (TSH, Testostérone, Glycémie, Protéines totales, Albumine, Cholestérol; ASAT, ALAT, PAL...), diminution non significative d'autres paramètres biochimiques (Urée, GGT) -Diminution significative de certaines populations lymphocytaires (CD3+/CD8+ et CD3+/CD25+)</p>

<p>2003 Hours (74)</p>	<p>- 102 salariés de 3 UIOM (UIOM 3 plus ancienne et prenant en partie en charge des déchets hospitaliers ou des déchets pré triés) Trois groupes de travailleurs exposés considérés (groupe 1 : "grutiers" et "opérateurs d'équipements" ; groupe 2 : "salariés des fours" ; groupe 3 : salarié de "maintenance" et de "traitement des effluents") - 94 travailleurs d'industries appariés (groupe contrôle) <i>France</i></p>	<p><u>Métaux:</u> Pb[sg] <u>Biologie:</u> NFS, ASAT, ALAT, GGT</p>	<p>-Plombémie significativement plus élevée dans le groupe 3 (maintenance et traitement des effluents) par rapport au groupe témoin (respectivement 91,1 µg/L contre 63,2,µg/L) Plombémie plus élevée (de manière non significative) pour les salariés du groupe 1 et 2 (respectivement 74,7 et 75,9 µg/L) par rapport au groupe témoin Augmentation significative des plombémies avec la durée de l'emploi Plombémies significativement plus élevées dans l'UIOM 3 par rapport aux 2 autres centres, notamment pour un des agents de traitement des fumées (310 µg/L)</p> <p><u>Biologie:</u> -Augmentation légère mais significative du nombre de globules blancs dans le groupe exposé, ce qui pourrait refléter des répercussions négatives sur le système immunitaire Pas de différences notables entre les deux groupes par ailleurs</p>
<p>2003 Hu (110)</p>	<p>133 salariés de 3 UIOM à Taïwan, sélectionnés de manière randomisés (postes techniques ou administratifs) <i>Cohorte divisée en deux groupes suivant le taux de dioxines (supérieur/inférieur à la médiane)</i> <i>Taiwan</i></p>	<p><i>Recherches d'éventuels effets des dioxines (PCDD/PCDF) sur les taux de lipides sanguins et sur la fonction hépatique</i> <u>Biologie:</u> TG, Cholestérol total, ASAT, ALAT, GGT, Bilirubine totale</p>	<p>Taux de cholestérol total plus élevé pour le groupe de salariés ayant le taux de dioxines le plus élevé Autres paramètres lipidiques et hépatiques similaires entre les salariés des deux groupes</p>

<p>2003 Leem (134)</p>	<p>- 13 salariés de deux UIOM - 16 riverains des UIOM - 10 riverains d'une usine d'incinération de déchets industriels Corée du Sud</p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN)</p> <p><u>Dommages oxydatifs de l'ADN:</u> Concentrations urinaires de 8-hydroxydéoxyguanosine (8-OHdG, marqueur permettant d'estimer le niveau de dommage oxydatif à l'ADN)</p> <p><u>Stress oxydatif systémique:</u> Concentrations urinaires de malondialdéhyde (MDA[u]) <i>Le MDA est un marqueur de l'oxydation des lipides (peroxydation des lipides cellulaires par attaque de radicaux libres)</i></p>	<p>Niveau moyen de dioxines totales similaire entre les salariés d'UIOM et les riverains d'UIOM (respectivement 10,4 et 13,7 pg I-TEQ/g de lipide). Niveau comparable à celui de population générale</p> <p>Taux de stress oxydatif (8-OH-dG et MDA) des salariés et riverains d'UIOM inférieur à celui des riverains d'UIOD (<i>pas de comparaison entre salariés et riverains d'UIOM</i>)</p>
<p>2003 Lin (117)</p>	<p>Opérateurs spécialisés effectuant le nettoyage et la rénovation des fours d'UIOM Taiwan</p>	<p><u>HAP:</u> 1-OHP[u] <i>Prélèvements comparatifs en début et en fin de poste (après 8h de travail), sur 3 journées différentes</i></p> <p><u>Mesure cutanée:</u> Évaluation de l'exposition cutanée totale aux HAP (compresse de gaze chirurgicale disposée pendant 8h sur une surface corporelle (tête, avant du cou, arrière du cou, poitrine et abdomen, main G/D, mollet G/D))</p>	<p><u>Biométrie:</u> Augmentation significative du taux de 1-OHP[u] après exposition (+ 60%, unité non détaillée)</p> <p><u>Mesures cutanées:</u> Expositions relevées principalement au niveau des mains et des pieds. Niveaux d'exposition plus élevés lors de certaines opérations (nettoyage du four, mise en place des échafaudages, inspection et nettoyage des systèmes de filtrations...). L'imprégnation se fait essentiellement par contact direct, mais aussi par dépôt (gravité, projection), et par diffusion (air, vêtements).</p> <p><i>Réalisation de différents modèles permettant d'expliquer les variations du taux urinaire de 1-OHP, en fonction des mesures atmosphériques et cutanées de HAP</i></p>
<p>2003 Maître (95)</p>	<p>- 29 salariés de 2 UIOM (UIOM 1 plus ancienne et prenant en partie en charge des déchets hospitaliers ou des déchets pré triés) - 17 salariés non exposés professionnellement (employés de supermarché; groupe contrôle) France (Rhône Alpes)</p>	<p><i>Prélèvements comparatifs en début et en fin de poste</i></p> <p><u>Métaux:</u> As[u] (UIOM 2), Cd[u], Cr[u], Mn[u] (UIOM 2), Ni[u]</p> <p><u>HAP:</u> 1-OHP (UIOM 2)</p> <p><u>COV:</u> Acide Méthylhippurique[u] (métabolite du xylène), Acide t,t-muconique[u] (métabolites du benzène) (UIOM 2), Orthocrésol[u] (métabolite du toluène)</p>	<p>Pas de différences dans les concentrations entre le début et la fin de poste L'ensemble des valeurs retrouvées sont inférieures aux IBE français de référence</p> <p><u>Métaux:</u> Niveaux de Cd, Cr, Ni significativement plus élevés pour les salariés de l'UIOM 1 (plus ancienne) par rapport aux salariés de l'UIOM 2 et aux témoins. Niveau d'As significativement plus élevé pour les salariés de l'UIOM 2 par rapport aux témoins. Les taux restent néanmoins inférieurs aux IBE.</p> <p><u>HAP/COV:</u> Métabolites urinaires retrouvés à des niveaux faibles, et comparables entre les salariés d'UIOM et les témoins</p>

2003 Sul (164)	-28 salariés d'une UIOM -24 salariés de 3 entreprises de contrôle des émissions automobiles - 43 sujets non exposés appariés (groupe contrôle) <i>Corée du Sud (Ansan)</i>	<u>HAP</u> : 1-OHP[u], 2-naphtol [2-NP] [u] <u>Génotoxicité</u> : Quantification des lésions à l'ADN des globules blancs (lymphocytes T, lymphocytes B et granulocytes) par le test des comètes, exprimé par Olive Tail Moment (OTM)	Taux de 1-OHP et de 2 naphtol significativement plus élevés chez les salariés d'UIOM par rapport aux salariés de contrôle des émissions automobiles et par rapport aux témoins Nombre de lésions à l'ADN significativement plus élevé parmi les lymphocytes T et surtout parmi les lymphocytes B chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins (pas d'influence de l'âge ou de la durée de travail)
2003a Takata (83)	94 salariés d'UIOM Cohorte similaire à Takata 2000, séparée en 4 groupes d'exposition: I- Pas de travail à l'intérieur de l'UIOM ni de manipulation de cendres; II-Travail en périphérie de l'installation et manipulation de résidus ininflammables ou de cendres solidifiées; III-Travail à l'intérieur de l'UIOM; IV-Travail incluant l'entretien des fours, électrofiltres et épurateurs humides <i>Japon</i>	<u>Dioxines</u> : PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN)	-Taux de dioxines élevé chez certains salariés (taux moyens des groupes I, II, III et IV respectivement de 34,2, 66,8, 93,3 et 323,3 pg I-TEQ/g de lipide) -Taux de dioxines du groupe IV significativement plus élevé que celui des autres trois groupes -Au sein du groupe IV, existence d'une corrélation significative entre le niveau de dioxines dans le sang et la durée de travail dans l'UIOM -Pas de corrélation retrouvée entre les habitudes alimentaires, le tabagisme, la consommation d'alcool et le taux de dioxines dans le sang <i>Les auteurs concluent que les concentrations de dioxines dans le sang des travailleurs ayant effectué la maintenance du four, de l'électrofiltre et de l'épurateur humide de l'incinérateur sont plus élevées que celles des résidents des zones environnantes. Cependant, il n'y a pas de signes ou de résultats en corrélation avec le niveau de dioxines dans le sang, et le niveau n'est pas assez élevé pour induire des effets suffisants sur la santé d'après l'examen des articles publiés.</i>
2003b Ministère du travail japonais Takata (83)	17 salariés de l'UIOM ayant un taux élevé de dioxines lors des premières investigations en 1998 <i>Japon</i>	<u>Dioxines</u> : PCDD/PCDF[sg] TEQ (OMS) Suivi biologique régulier (non détaillé)	La concentration moyenne de dioxines dans le sang des 17 sujets a diminué d'année en année (exprimées en pg-TEQ/g de lipide) : 286,3 en 1998, 256,1 en 1999, 152,3 en 2000 et 126,7 en 2001 (avec des mesures individuelles en 2001 allant de 19,6 à 484,0) Perturbation de certains résultats biologiques (fonction hépatique) sans que cela semble lié à l'exposition aux dioxines

	104 salariés de 6 incinérateurs (3 UIOM et 3 UIDD) <i>Japon</i>		La concentration sanguine moyenne en dioxines de 104 travailleurs travaillant dans des usines d'incinération de déchets est de 21,3 pg TEQ/g de lipide (allant de 3,5 à 66,7 pg-TEQ/g de lipide), ce qui est similaire au niveau des riverains Pas de relation statistique retrouvée entre les marqueurs sanguins ou immunologiques analysés et la concentration de dioxines dans le sang
	6 salariés ayant participé à la démolition d'une UIOM <i>Japon</i>		Pas de différence significative du taux de dioxines dans le sang (pg-TEQ/g de lipide) avant et après les travaux de démolition
	452 salariés de 26 incinérateurs de déchets, suivis pendant 3 ans de 1999 à 2001 <i>Japon</i>		Concentration moyenne de dioxines dans le sang de 22,5 pg-TEQ/g de lipide (entre 3,5 et 133 pg-TEQ/g de lipide) similaire aux données nationales La relation entre la concentration de dioxines dans le sang et les résultats des tests et des mesures a été analysée statistiquement. Il n'y a pas eu d'effets observables sur la santé dus à l'exposition aux dioxines pendant les opérations dans les installations liées aux incinérateurs.
2003 <i>Toïde</i> (173)	72 salariés d'une UIOM fermée suite à la découverte d'émissions élevées de dioxines (Analyses d'une partie des échantillons de sang récupérés sur la cohorte de l'étude de Kitamura en 2000) <i>Japon</i>	Évaluation du niveau d'expression génique des ARN des cytochromes CYP1A1 et CYP1B1 dans les leucocytes	Chez une partie des salariés (identifiés comme répondeurs intermédiaires et élevés), les quantités d'ARNm du CYP1B1 dans les leucocytes sont fortement corrélées aux concentrations plasmatiques de dioxines. Ces résultats suggèrent que le CYP1B1 a une inductibilité polymorphe liée aux dioxines, et est impliqué dans les activités hydroxylases des hydrocarbures aromatiques dans les lymphocytes humains.

<p>2003 Yoshida (177)</p>	<p>81 salariés de 4 UIOM de la même ville, divisés en 3 groupes suivant leur durée d'emploi et leur niveau d'exposition au REFIOM: -30 salariés fortement exposés et travaillant depuis plus de 10 ans -22 salariés fortement exposés travaillant depuis moins de 10 ans - 29 salariés non exposés aux cendres d'incinération <i>Japon</i></p>	<p><u>Marqueurs des dommages oxydatifs de l'ADN:</u> Concentration de 8-OH-dG dans les leucocytes (sérique) et dans les urines <u>Marqueurs du stress oxydatif systémique:</u> Concentrations sanguines de MDA et de peroxydes lipidiques (LPO), concentration urinaire de biopyrines</p>	<p>Pas de différence significative entre les 3 groupes Après analyse de régression multiple, le niveau de 8-OH-dG urinaire augmente significativement avec la durée de l'emploi, pour les agents exposés aux REFIOM.</p>
<p>2004 Hemon-Delsaux (115)</p>	<p>Plusieurs UIOM 32 prélèvements sur des salariés d'UIOM en fonctionnement, 7 résultats sur des salariés d'UIOM à l'arrêt, 69 prélèvements témoins <i>Compilations des résultats de plusieurs prélèvements réalisés aux seins d'UIOM réalisés par un laboratoire de toxicologie (Grenoble)</i> <i>France</i></p>	<p><u>Prélèvements comparatifs en début et en fin de poste</u> HAP: 1-OHP[u]</p>	<p>Pas de variation des concentrations de 1-OHP entre le début et la fin de poste <u>UIOM en fonctionnement:</u> Niveau similaire à celui des témoins (<0,1 µmol/mol de créatinine) <u>UIOM à l'arrêt:</u> Niveau médian plus élevé (0,4 µmol/mol de créatinine), mais restant inférieur à la valeur limite recommandée (2,3 µmol/mol de créatinine). Ceci peut être expliqué par une intensification de l'exposition aux HAP due à des procédés de combustion différents la veille de l'arrêt de four.</p>
<p>2004 Hu (114)</p>	<p>133 salariés de 3 UIOM à Taïwan, sélectionnés de manière randomisée (postes techniques ou administratifs) <i>Taïwan</i> Cohorte similaire à Hu 2003</p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] TEQ (OMS)</p>	<p>Niveau moyen de dioxines totales similaire entre les salariés des 3 UIOM (14.6-19.1 TEQ/g de lipide) et proche de celui de la population générale Certains congénères de dioxines sont répartis de manière significativement différente suivant les UIOM. Ces différences ne s'expliquent ni par la nature ou la durée des emplois, ni par les taux des différents types de congénères de dioxines retrouvés sur chaque UIOM (mesures atmosphériques).</p>

<p>2004 Kim (178)</p>	<p>-31 salariés d'une UIOM -54 salariés de 3 entreprises de contrôle des émissions automobiles - 84 témoins non exposés appariés (groupe contrôle) <i>Corée du Sud (Ansan)</i> Cohorte de salariés similaire à Sul 2003</p>	<p><u>Génotoxicité:</u> Quantification des lésions à l'ADN des cellules mono- et polynucléaires, par le test des comètes (OTM)</p> <p><u>Modification du métabolisme cellulaire:</u> Recherche d'éventuels effets des HAP et des dioxines sur l'expression de l'ARNm et des protéines plasmatiques à l'aide d'analyses génomiques et protéomiques (puces à ADN radioactif)</p>	<p>Nombre de lésions à l'ADN des cellules mono- et polynucléaires significativement plus élevé chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins et aux salariés de contrôle d'émissions automobiles.</p> <p>L'expression des gènes et des protéines impliqués dans le stress oxydatif est modifiée chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins.</p>
<p>2004 Kumagai (135)</p>	<p>- 117 salariés de 13 UIOM - 50 sujets non exposés appariés (groupe contrôle) <i>Japon</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] TEQ (OMS) <i>Comparaison des types de congénères retrouvés dans le sang des salariés et dans les poussières des UIOM</i></p>	<p>Pas de différence significative du taux moyen de dioxines totales entre les salariés et les témoins (25-28 pg TEQ/g de lipide)</p> <p>Concentration de certains congénères de dioxines significativement plus élevée chez les salariés d'UIOM que pour les témoins</p> <p>Concentration de certains congénères de dioxines et taux de PCDF (TEQ) dans le sérum des salariés corrélée avec certaines congénères de dioxines retrouvées dans les poussières des UIOM <i>Les auteurs concluent que la mesure des concentrations de dioxine dans les poussières sédimentaires d'UIOM peut aider à juger de la pertinence du dosage des dioxines dans le sang des salariés.</i></p>
<p>2004 Lim (126)</p>	<p>- 12 salariés d'incinérateurs de déchets (UIOM ou UIDD) - 23 riverains d'incinérateurs de déchets <i>Corée du Sud</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (US EPA, 2000)</p>	<p>Taux moyen de dioxines plus élevé chez les salariés que chez les riverains (respectivement 22,90 et 14,57 pg-TEQ/g de lipide)</p>
<p>2004 Yang (136)</p>	<p>- 28 salariés d'une UIOM - 49 riverains de l'UIOM - 11 sujets témoins (groupe contrôle) <i>Corée du Sud</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/PCDF[sg] TEQ (OMS)</p>	<p>Pas de différence significative du taux de dioxines totales (en pg TEQ/g de lipide) entre les 3 groupes</p> <p>Les valeurs retrouvées sont similaires à celles de la population générale.</p>

<p>2005 Chao (155)</p>	<p>- 122 salariés d'une UIOM, répartis en 3 groupes, suivant leur exposition estimée aux polluants de combustion (directe, indirecte et nulle) - 122 riverains, appariés pour l'âge et le sexe, vivant depuis au moins 6 mois à proximité de l'installation (groupe contrôle) <i>Taiwan (Taipei)</i></p>	<p><u>Métaux</u>: As[u, sg], Pb[sg]</p>	<p>Plombémies des salariés situées sous les seuils réglementaires (70-136 ug/L, pas de précisions complémentaires).</p> <p>Taux d'arsenic sanguin et urinaire significativement plus élevés chez les salariés de l'UIOM (3 groupes confondus) par rapport aux témoins.</p> <p>Les concentrations d'arsenic dans l'urine et le sang sont supérieures aux limites locales autorisées, chez respectivement 19 et 8 salariés d'UIOM, contre respectivement seulement 4 et 1 sujets témoins.</p> <p>Taux d'arsenic sanguin significativement plus faible pour les salariés les plus exposés par rapport aux deux autres groupes d'exposition.</p> <p>Les salariés les plus exposés sont les seuls à devoir porter des EPI (masques et gants), ce qui pourrait expliquer cette différence.</p> <p><i>Les auteurs soulignent l'importance de choisir des mesures appropriées, car les concentrations d'arsenic dans le sang et l'urine ont fourni des résultats différents.</i></p>
<p>2005 Kang (176)</p>	<p>- 31 salariés d'une UIOM - 33 sujets témoins (groupe contrôle) <i>Corée du Sud (Ansan)</i> Cohorte de salariés similaire à Sul 2003</p>	<p><u>Modification du métabolisme cellulaire</u>: Détermination des effets de l'exposition aux dioxines sur l'expression des protéines dans le sang humain, en analysant les niveaux de protéines plasmatiques (par électrophorèse bidimensionnelle et spectrométrie de masse)</p>	<p>Dans les échantillons de plasma des salariés d'UIOM, par rapport au groupe témoin:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Niveau de certaines protéines plasmatiques plus élevé (alpha foeto protéine, fibronectine, préalbumine) -Activation d'une protéine (protéine de liaison de l'adrénoméduline) -Réduction de l'expression de l'albumine réduite <p>Ces observations ont pu être reproduites en exposant des cellules aux PCDD</p> <p><i>Les auteurs concluent que l'exposition aux PCDD pourrait induire des maladies ou des cancers hépatiques.</i></p>
<p>2005 Kim (141)</p>	<p>- 13 salariés d'une UIOM - 22 riverains de l'UIOM <i>Corée du Sud (Séoul)</i></p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/PCDF/PCB[sg] I-TEQ (OTAN) [supposé]</p> <p><u>PBDE</u> (Poly-Bromo-Di-Phényl-Éthers, composés lipophiles utilisés comme additif retardateur de flamme)</p>	<p>Taux moyen de dioxines significativement inférieur chez les salariés d'UIOM par rapport aux riverains (respectivement 17,73 et 21.52 pg I-TEQ/g lipide).</p> <p>Taux de PBDE légèrement plus élevé chez les salariés (moyennes respectives de 19,33 et 15,06 ng/g lipide).</p> <p>Taux d'un congénère BDE (183) plus élevé chez les salariés, probablement en lien avec le démantèlement d'appareils électroniques effectué sur place.</p>

<p>2005 Moon (142)</p>	<p>- 28 salariés de 4 UIOM - 75 riverains habitant à moins de 300m d'une UIOM Corée du Sud</p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/PCDF[sg] I-TEQ (OTAN)</p>	<p>Taux moyen de dioxines inférieur chez les salariés d'UIOM par rapport aux riverains masculins (respectivement 3,14 et 8,04 pg I-TEQ/g lipide)</p> <p><i>Pas d'appariement détaillé par âge et statut tabagique</i></p>
<p>2005 Nakao (144)</p>	<p>-31 salariés d'une UIOM - 64 sujets témoins (groupe contrôle) (échantillons datant de 1995) Japon</p>	<p><u>Dioxines</u>: Mesure des taux de PCDD/PCDF/Co PCB dans les cheveux TEQ (OMS)</p> <p><i>Mesures des taux de PCDD/PCDF/Co PCB (TEQ, OMS) dans le sang et les cheveux de 6 donneurs sains et non fumeurs pour étudier l'association entre les taux de dioxines respectifs et évaluer la pertinence du choix d'utiliser des cheveux comme échantillons pour l'évaluation de l'exposition</i></p>	<p>Concentration en dioxines (TEQ pg/g de cheveux) 2,5 fois plus élevée chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins.</p> <p>Entre les salariés d'UIOM, niveaux de PCDD deux fois plus élevé chez les salariés effectuant la maintenance et la vérification à l'intérieur de l'incinérateur, par rapport aux salariés effectuant le transport des matériaux incinérés.</p> <p><i>Le lien entre les concentrations en dioxines dans les cheveux et dans les liquides biologiques n'est cependant pas établi (possibilité de contamination extérieure, profil de répartition des congénères différent). Chez 6 sujets sains dont le taux de dioxines dans le sang et les cheveux a été analysé, il n'y a pas de corrélation entre les concentrations totales de TEQ dans les cheveux et dans le sérum. Des corrélations ont été retrouvées pour certains congénères de dioxines.</i></p>
<p>2005 Oh (169)</p>	<p>- 31 salariés d'une UIOM - 84 sujets témoins (groupe contrôle) Corée du Sud (Ansan) Cohorte de salariés similaire à Sul 2003</p>	<p><u>Immunotoxicité</u>:</p> <p>-Niveau des sous populations de leucocytes -Niveau des immunoglobulines (IgA, IgE, IgG et IgM) et de 2 cytokines (IL-4, IFN-γ) dans le sérum</p> <p>-Quantification des lésions à l'ADN des cellules mono- et polynucléaires, par le test des comètes (OTM)</p> <p><u>Reprotoxicité</u> :</p> <p>-Caractéristiques générales des spermatozoïdes</p> <p>-Quantification des lésions à l'ADN des spermatozoïdes, par le test des comètes (OTM)</p>	<p><i>Pas de différence significative dans les profils des lymphocytes T et B, ni dans le ratio entre lymphocytes T auxiliaires/ cytotoxiques</i></p> <p><i>Augmentation significative du nombre de lymphocytes T activés</i></p> <p><i>Niveau d'immunoglobulines et de cytokines plus faible, de manière non significative (significative seulement pour INF-γ)</i></p> <p><i>Nombre de lésions à l'ADN des cellules mononucléaires et polynucléaires significativement plus élevé</i></p> <p><i>Pas d'association significative retrouvée entre les niveaux de métabolites urinaires, les dommages à l'ADN et les paramètres immunologiques, que ce soit chez les salariés ou chez les témoins</i></p> <p><i>Nombre de spermatozoïdes significativement plus faible</i></p> <p><i>Pourcentage de spermatozoïdes mobiles diminué de manière non significative</i></p> <p><i>Nombre de lésions à l'ADN des spermatozoïdes significativement plus élevé</i></p>

<p>2005 Yoshida (137)</p>	<p>57 salariés de 5 UIOM Japon</p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/PCDF/Co-PCB[sg] TEQ (OMS)</p> <p><u>Métabolites des œstrogènes [u]</u>: Estrone, 17-Estradiol, 2-Hydroxyestrone, 2-Méthoxyestrone, 2-Hydroxyestradiol, 2-Méthoxyestradiol, 4-Hydroxyestrone, 4-Hydroxyestradiol, 4-Méthoxyestradiol, 16-Hydroxyestrone, Estriol <i>Recherches de l'influence du taux de dioxines sur le métabolisme des estrogènes</i></p>	<p>Niveau moyen de dioxines de 38.9 pg TEQ/g de lipide, similaire à celui de la population japonaise. Concentrations moyennes d'un congénère plus élevé (heptafurane) Concentrations des métabolites urinaires d'œstrogène proches du niveau de la population générale. Métabolisation de certains œstrogènes potentiellement modifiés par le niveau de dioxines Tendance à l'augmentation des concentrations moyennes d'estriol avec le niveau de dioxines</p>
<p>2006 Hu (174)</p>	<p>- 112 salariés d'une UIOM répartis en 3 groupes, suivant leur exposition estimée : forte, moyenne et faible (personnels de la direction), avec respectivement 45, 34 et 35 salariés Taiwan</p>	<p>Évaluation de l'expression génique de certains cytochromes (CYP1A1 et CYP1B1) dans les leucocytes, recherche de l'impact du polymorphisme génique</p>	<p>Niveau d'expression génétique de CYP1B1 significativement plus élevé dans les groupes à forte et moyenne exposition que dans le groupe à faible exposition. L'expression du gène CYP1B1 pourrait être un biomarqueur potentiel de suivi pour contrôler l'exposition professionnelle aux HAP et/ou aux dioxines.</p> <p>Niveaux d'expression du CYP1B1 variables suivant le polymorphisme génétique</p>
<p>2006 Raemdonck (102)</p>	<p>5 salariés participant aux opérations de maintenance annuelle d'une UIOM (employés de l'UIOM, en charge des travaux préparatoires et du contrôle des opérations de nettoyage) Belgique</p>	<p><u>Dioxines</u>: Concentration sérique moyenne des substances de type dioxines à l'aide du test d'expression génique de la luciférase activée chimiquement (CALUX=Chemical-Activated Luferase gene eXpression) <i>Mesures avant et après les opérations de maintenance</i></p>	<p>-Lors de la première opération de maintenance, augmentation importante des concentrations sériques moyennes des substances de type dioxines (de 17,2 à 28,5 pg TEQ CALUX/g de lipide)</p> <p>-Lors de la deuxième opération de maintenance l'année suivante, augmentation moyenne beaucoup plus faible (de 15,4 à 16,4 pg TEQ CALUX/g de lipide), qui concerne principalement un nouvel employé. Diminution des concentrations moyennes 6 jours après l'opération (11,6 pg TEQ CALUX/g de lipide)</p> <p>-Taux inférieurs à celui de la population flamande (36.4 pg TEQ CALUX/g de lipide)</p>

<p>2006 Shih (149)</p>	<p>35 travailleurs temporaires (dont 16 n'ayant pas d'expérience préalable dans ce domaine), effectuant des travaux de nettoyage et d'entretien de fours et dispositifs d'épuration des gaz d'échappement au sein de 4 UIOM différentes <i>Taiwan</i></p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/PCDF/Co-PCB[sg] TEQ (OMS) <i>Mesure avant et après un mois de travail</i></p>	<p>-Augmentation significative des concentrations moyennes de dioxines (TEQ) après un mois de travail, en particulier pour les salariés ayant travaillé au contact de REFIOM, et pour les travailleurs n'ayant pas d'expérience préalable du nettoyage des incinérateurs. -Taux de dioxines plus élevé chez les salariés ayant déjà effectué ce type de travail (19,6 et 27,5 pg TEQ/g de lipide vs 15,7 et 24,1 pg TEQ/g de lipide pour les salariés sans expérience). <i>Pas de différence de concentration entre les ouvriers et les responsables</i> <i>Les auteurs indiquent qu'il pourrait exister une modification du mécanisme métabolique de certains congénères des PCDD/F chez les personnes ayant été exposées à des niveaux suffisamment élevés de dioxines pendant certaines périodes.</i></p>
<p>2006 Yoshida (172)</p>	<p>57 salariés de 5 UIOM <i>Japon</i> Cohorte similaire à Yoshida 2005</p>	<p><u>Mutagenicité</u>: Détermination de la mutagenicité des urines à l'aide du test d'Umu (test réalisé chez seulement 29 salariés) <u>Marqueurs des dommages oxydatifs de l'ADN</u>: Concentration de 8-OH-dG dans les leucocytes (sérique) et dans les urines</p>	<p>-Niveau de mutagenicité urinaire faible en dehors de 3 sujets (probables facteurs externes) -Association négative entre le niveau de 8-oxo-dG sérique et le niveau de dioxines, probablement en lien avec d'autres facteurs de confusion non pris en compte -Absence de corrélation entre le niveau de 8-OH-dG urinaire avec le niveau de dioxines sérique, mais corrélation positive avec le niveau de tabagisme. <i>Les auteurs concluent sur la nécessité de réaliser d'autres études épidémiologiques sur le lien entre le niveau de dioxines et les marqueurs génotoxiques, dans une population plus fortement exposée.</i></p>
<p>2007 Ichiba (162)</p>	<p>100 salariés de 3 UIOM (2 anciennes et 1 moderne) et 1 UIDD <i>Japon</i></p>	<p><i>Prélèvements comparatifs en début et en fin de poste</i> <u>HAP</u>: 1-OHP[u], 2-NP[u]</p>	<p>Evolution des concentrations de 1-OHP[u] et de 2-NP[u] assez hétérogène suivant les incinérateurs Tendance globale à une diminution du taux de 1-OHP[u] entre le début et la fin de poste associée à une augmentation du taux de 2-NP[u] Le tabagisme et le type d'incinérateur semblent faire varier significativement le taux de HAP <i>Limite: Niveaux de HAP ambiant non évalué</i></p>

<p>2007 Lee (165)</p>	<p>- 25 salariés de 3 UIOM et 5 salariés d'un incinérateur de déchets industriels - 51 riverains vivant dans un rayon de 1 km d'un incinérateur -11 sujets témoins vivant de 6 à 20 km d'un incinérateur (groupe contrôle) <i>Corée du Sud</i></p>	<p><u>PBDE[sg]</u></p>	<p>Taux de PBDE des salariés d'incinérateurs légèrement plus élevé que celui des riverains ou du groupe témoin</p> <p>La différence est faible par rapport à d'autres secteurs où des contaminations plus grandes ont été observées, et le profil de congénères de PBDE est similaire pour les 3 groupes, ce qui n'est pas en faveur d'une exposition importante des salariés aux PBDE.</p> <p>Les données suggèrent que l'exposition professionnelle des travailleurs des incinérateurs aux PBDE peut être considérée comme mineure, et que d'autres facteurs liés au mode de vie peuvent avoir une plus grande contribution à l'exposition aux PBDE.</p> <p>L'exposition des salariés d'incinérateurs pourrait davantage être liée à de faibles niveaux de PBDE issus des déchets entrants, plutôt que par le processus d'incinération.</p>
<p>Liu 2008 (179)</p>	<p>-37 salariés d'une usine de récupération des mâchefers (issus d'UIOM), -41 salariés d'une usine de traitement de REFIOM (vitrification des cendres volantes issues d'UIOM) Employés affectés au groupe "cols bleus" (ouvriers) ou au groupe "cols blancs"(encadrants) <i>Taiwan</i></p>	<p><u>Biomarqueurs de lésions oxydatives:</u> MDA[u] <u>Marqueurs des dommages oxydatifs de l'ADN:</u> Concentration urinaire de 8-OH-dG</p>	<p>Niveaux de MDA significativement plus élevés pour les travailleurs des usines de traitement de REFIOM que pour les travailleurs des usines de traitement des mâchefers.</p> <p>Existence d'une association significative entre les niveaux de MDA et l'environnement de travail des salariés, en particulier dans les usines de traitement des REFIOM.</p> <p>Variation plus importante des niveaux de 8- OH-dG chez les travailleurs des usines de traitement des mâchefers que pour ceux des usines de traitement des REFIOM. L'association entre l'exposition professionnelle et les niveaux de 8-OH-dG peut être affectée par le mode de vie des travailleurs.</p>
<p>2008 Hu (175)</p>	<p>- 112 salariés d'une UIOM répartis en 3 groupes, suivant leur exposition estimée : forte, moyenne et faible (personnel de la direction), avec respectivement 45, 34 et 35 salariés <i>Taiwan</i> (Même cohorte que Hu, 2006)</p>	<p><i>Évaluation de l'association entre les paramètres lipidiques sanguins et l'expression de certains cytochromes (CYP1A1 et CYP1B1)</i></p> <p>Évaluation de l'expression génique de CYP1A1 et CYP1B1 dans les leucocytes <u>Biologie:</u> Cholestérol (Total, LDL, HDL),TG</p>	<p>-Taux de cholestérol HDL significativement plus bas dans le groupe à forte expression de CYP1B1 que dans les groupes à faible et moyenne expression (après prise en compte des facteurs âge, sexe, génotype du CYP1B1, durée de l'emploi, consommation d'alcool et de tabac et IMC).</p> <p>-Variations des taux moyens de HDL, de LDL et de cholestérol total suivant le type d'allèle de CYP1B1</p>

<p>2008 Wu (159)</p>	<p>37 salariés d'une usine de traitement des mâchefers issus d'UIOM, répartis en 3 groupes différents: ouvriers sur site, personnel encadrant, personnel administratif (répartition non précisée) <i>Taiwan</i></p>	<p><u>Métaux</u>: Cd[sg, u], Cr[sg, u], Ni[sg, u], Pb[sg, u]</p>	<p>Cadmiémie significativement plus élevée chez les ouvriers manipulant des mâchefers Pas de différences significatives entre les différents groupes dans les autres niveaux biologiques de métaux</p> <p>Sur l'ensemble des salariés, les niveaux moyens de cadmium[sg] et de chrome[u] sont supérieurs aux IBE locaux (respectivement 5 µg/l et 25 µg/g créatinine).</p> <p>La plombémie moyenne est supérieure à 50% de l'IBE locale (valeur non précisée).</p> <p>Niveau de cadmium significativement corrélé à la consommation quotidienne de cigarettes.</p>
<p>2009 Park (138)</p>	<p>-21 salariés d'incinérateur (16 salariés d'UIOM et 10 salariés de UIDD) -45 sujets non exposés professionnellement: 38 riverains (28 riverains d'UIOM et 10 riverains d'UIDD) et 7 témoins vivants à plus de 10 km d'un incinérateur <i>Corée du Sud</i></p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/ PCDF/Co-PCB[sg] TEQ (OMS)</p>	<p><u>Pour les salariés d'UIOM</u>: Concentration moyenne en dioxines totales (9,86 pg TEQ/g de lipide) similaire aux valeurs des groupes non exposés professionnellement (6,91- 17,64 pg TEQ/g de lipide). Profil de concentration de congénères comparable.</p>
<p>2010 Chen (180)</p>	<p>-37 salariés d'une usine de récupération des mâchefers (issus d'UIOM), -41 salariés d'une usine de traitement de REFION (vitrification des cendres volantes issues d'UIOM) Employés affectés au groupe "cols bleus" (ouvriers) ou au groupe "cols blancs"(encadrants) <i>Taiwan</i> Cohorte similaire à Liu 2008</p>	<p><u>Génotoxicité</u> : Comparaison du niveau de dommage de l'ADN dans le sang des travailleurs des 2 groupes, en utilisant la version alcaline du test des comètes <i>Niveau de dommage exprimé par Tail Moment [TMOM], ou "moment de queue"</i></p>	<p>Niveau de dommages à l'ADN plus élevés chez les travailleurs des usines de traitement des REFION que chez les travailleurs des usines de récupération des mâchefers. Niveau de dommages à l'ADN plus élevé chez les ouvriers que chez les encadrants. Niveau de dommages à l'ADN significativement plus élevé chez les travailleurs fortement exposés.</p>

<p>2011 Wultsch (157)</p>	<p>-23 salariés d'UIOM, qui effectuent régulièrement des travaux d'entretien d'un incinérateur (entre 1 et 11 mois par an), divisés en 3 groupes suivant leur durée annuelle d'exposition: 1-3 mois, 3-8 mois, 8-11 mois (respectivement 8,9 et 6 salariés) -19 témoins salariés d'UIOM, considérés comme non exposés (travailleurs administratifs) <i>Autriche</i></p>	<p><u>Métaux:</u> As[u], Cr[u], Mn[u], Ni[u] <u>Génotoxicité:</u> Évaluation des altérations de l'ADN au moyen de l'électrophorèse sur gel unicellulaire (SCGE) et des tests de micronoyaux (MN) dans les lymphocytes</p>	<p>-Pas de différence retrouvée entre les sujets exposés et non exposés dans les résultats des tests d'altération de l'ADN ni dans les concentrations urinaires de métaux -Pas de différence mentionnée entre les différents groupes suivant la durée d'exposition</p>
<p>2013 Parera (139)</p>	<p>-17 salariés d'un incinérateur moderne de déchets solides (prise en charge des déchets après tri mécano-biologique) -104 riverains de l'incinérateur (vivant à moins d'un km) -97 sujets témoins habitant dans la même ville, à plus de 3 km de l'incinérateur -100 sujets témoins, vivant dans une autre ville (groupe contrôle) <i>Espagne</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Évolution dans le temps du taux de dioxines (PCDD/PCDF/PCB)[sg], entre 1995 et 2012 (7 campagnes de mesures de 1995 à 2012) <i>TEQ (OMS)</i></p>	<p><u>Concernant les salariés:</u> Stabilité dans le temps du taux moyen de dioxines (PCDD/PCDF: entre 12,8 et 15,3 pg TEQ/ g de lipide; PCB: 0,16-0,69 µg/g de lipide) Valeurs similaires à celles retrouvées dans les 3 autres groupes</p>

<p>2014 Park (140)</p>	<p>-73 salariés d'UIOM -769 riverains d'UIOM (vivant à moins de 3 km) -112 sujets témoins, habitant à plus de 3 km d'une UIOM (groupe contrôle) <i>Corée du Sud</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/ PCDF/Co-PCB[sg]</p>	<p>Concentration moyenne en dioxines (TEQ) et profil de concentration de congénères similaires pour les 3 groupes</p>
<p>2014 Viegas (167)</p>	<p>-41 salariés d'une entreprise de traitement des déchets urbains (26 dans la filière tri; 9 dans la filière compostage; 6 dans la filière incinération) -30 sujets témoins (groupe contrôle) <i>Portugal</i></p>	<p>Évaluation de l'exposition professionnelle à l'aflatoxine B1 (AFB1), par mesure du niveau d'AFB1 dans le sérum <i>L'AFB1, produit par certains champignons, possède des propriétés génotoxiques et carcinogènes</i></p>	<p>Concentrations significativement plus élevées d'AFB1 chez les travailleurs du secteur des déchets par rapport aux témoins (valeur médiane de 9,9±5,4 ng/ ml chez les salariés; valeurs inférieures à la limite de détection pour les témoins) Pas de différences significatives entre les travailleurs des différentes unités (tri, compostage, incinération)</p>
<p>2015 Yamamoto (124)</p>	<p>-16 salariés d'une UIOM fermée en 1997 suite à la découverte d'émissions atmosphériques élevées de dioxines, avec un niveau d'exposition important (groupe III et IV de Takata et al, 2003), ayant bénéficié au moins 3 fois d'un bilan annuel médical entre 2000 et 2007 <i>Japon (Osaka)</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Evolution du taux de dioxines (PCDD/ PCDF/ co -PCB) dans le temps, entre 2000 et 2007 <i>TEQ (OMS)</i></p>	<p>-Niveaux moyens de dioxines totales, de PCDF et de PCDD plus élevés chez les salariés que pour la population générale (respectivement 6,2; 4,7 et 21,2 fois plus élevé); niveau similaire de PCB coplanaires -Diminution progressive des concentrations de dioxines totales (TEQ) après l'arrêt de l'usine (107, 90 pg/g de lipide en 1997 contre 41,1 en 2007) -Demi-vies et taux d'élimination estimés des PCDD et des PCDF augmentés chez les travailleurs fortement exposés par rapport aux travailleurs modérément exposés <i>Demi-vies calculées des dioxines pour l'ensemble du groupe : 9,1 ans (Dioxines totales), 11,1 ans (PCDD); 7,3 ans (PCDF), 17 ans (PCB coplanaires)</i></p>

<p>2015 Yamamoto (77)</p>	<p>-678 salariés de 36 UIOM suivis pendant 8 ans de 2000 à 2007 Japon</p>	<p><u>Dioxines</u>: PCDD/ PCDF/ Co-PCB [sg] Étude des effets sur la santé des dioxines, étudiés via des données provenant d'échantillons de sang <u>Biologie</u>: NFS, Plaquettes, Taux de Protéines Totales, albumine, ASAT, ALAT, GGT, PAL, Leucine Aminopeptidase, Bilirubine, TP, LDH, Amylase, Fer sérique, Créatine Phosphokinase [CPK], Urée, Glycémie, HbA1C, Cholestérol [Total/ HDL], TG, <u>fonction immunologique</u> (réponse lymphocytaire PHA et ConA, activité NK, marqueurs lymphocytaires]</p>	<p>Exposition aux dioxines estimée "marginale" : concentration moyenne de dioxines totales des salariés d'UIOM similaire à celle de la population générale japonaise (respectivement 17,2 et 19,4 pg TEQ/g de lipide). Concentration moyenne de PCDF significativement plus élevée chez les salariés Pas de différence essentielle dans les prévalences des dyslipidémies et des perturbations de bilan hépatique entre les salariés d'UIOM et la population générale Quelques corrélations positives ont été retrouvées après analyse de régression multiple ("ces résultats doivent être interprétés avec précaution") entre: -les taux de dioxines totales et les taux de plaquettes -les taux de PCDF et les taux de GGT et de cholestérol total -les taux de PCB coplanaires et certains paramètres biologiques (hémoglobine, plaquette, ASAT, ALAT, GGT, PAL, Urée, TG, Glycémie, HbA1C, taux de lymphocyte CD3)</p>
<p>2016 Lin (163)</p>	<p>-32 salariés d'une UIOM -26 employés d'une unité environnementale dont le lieu de travail est rattaché à l'UIOM -25 riverains de l'UIOM Taiwan</p>	<p><u>HAP</u>: 1-OHP[u], 3-Hydroxybenzo[a]pyrène urinaire (3-OHBP[u]) <i>Prélèvements comparatifs effectué en début et en fin de semaine de travail pour les salariés d'UIOM</i> <u>Biomarqueurs de lésions oxydatives</u>: MDA[u]</p>	<p><u>Pour les salariés d'UIOM</u>: -Diminution du taux de 1-OHP[u] entre le début et la fin de semaine de travail, mais augmentation significative du taux de 3-OHBP[u] -Niveaux de 1-OHP [u] et de 3-OHBP [u] plus élevés que celui des riverains et des employés rattachés sans activité au sein de l'incinérateur -Concentrations de 1-OHP[u] et 3-OHBP[u]) plus basses chez les salariés qui utilisent un EPI (masque ou gants) par rapport à ceux qui n'en portent pas, Niveau de MDA plus élevé pour les salariés d'UIOM par rapport aux riverains, et en hausse après la semaine de travail Corrélation statistiquement significative entre les niveau de 1-OHP[u], 3-OHBP[u] et les niveaux de MDA, ce qui semble signifier que les niveaux de MDA sont affectés par les expositions aux HAP</p>

<p>2016 Deng (158)</p>	<p>-35 salariés d'une UIOM -269 riverains d'UIOM (vivant à moins de 5 km) -143 sujets témoins (habitant à plus de 5 km de l'UIOM) <i>Chine (Shenzhen)</i></p>	<p><u>Métaux:</u> Hg total[sg], méthyl-Hg[sg]</p>	<p>Concentrations de mercure total généralement inférieures à celles rapportées dans la population générale de pays européens (pour les salariés, résidents ou témoins)</p> <p>Taux de méthylmercure significativement plus élevés chez les salariés d'UIOM par rapport aux riverains et aux témoins (niveaux moyens respectifs de 1,08 µg/L, 0,91 µg/L et 0,71 µg/L)</p> <p>Taux de mercure total plus élevé, mais de manière non significative, par rapport aux riverains et aux témoins (niveaux moyens respectifs de 1,81 µg/L, 1,64 µg/L et 1,62 µg/L)</p> <p>Ratio du taux de mercure total/ méthylmercure significativement plus élevé par rapport aux témoins (ratio respectif de 0,58 et 0,51)</p>
<p>2018 De Meester (143)</p>	<p>-32 salariés de maintenance de 2 UIOM, sous divisés en 2 groupes suivant leur durée d'exposition (supérieure ou inférieure à 10 ans) -7 ouvriers de garage -11 salariés administratifs <i>Pays-Bas</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Détermination de la concentration sérique moyenne de substances de type dioxine (CALUX)</p>	<p>-Niveaux de dioxines sérique des salariés de maintenance d'UIOM significativement plus faible que celui des ouvriers de garage et employés administratifs (moyennes respectives de 26,9, 38,3 et 38,8 pg CALUX TEQ/g de lipide)</p> <p>-Niveaux de dioxines sérique des salariés de maintenance d'UIOM ayant plus de 10 ans d'ancienneté plus faible que celui des salariés ayant moins de 10 ans d'ancienneté (respectivement 24,7 et 31,5 CALUX TEQ/g de lipide)</p> <p>. Ces résultats semblent indiquer qu'il n'y a pas de risque supplémentaire d'exposition aux dioxines dans les deux incinérateurs de déchets considérés</p>
<p>2019 Liu (145)</p>	<p>-36 salariés d'une 2 UIOM, divisés en 2 groupes : 17 salariés avec une exposition directe aux cendres (solidification des REFIOM, entretien de l'UIOM, traitement des eaux usées, exploitation des équipements), et 19 salariés sans exposition directe (bureaux, laboratoires, conduite de l'usine) -11 témoins d'une zone de référence représentant la population générale <i>Chine</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> Niveau de dioxines (PCDD/F) dans les cheveux TEQ (OMS) <i>Comparaison avec les congénères de dioxines présentes au sein des cendres volantes et des fumées de combustion en sorties de cheminée, afin d'en déterminer l'origine</i></p>	<p>-Niveaux de dioxines significativement plus élevés dans les cheveux des travailleurs que dans les cheveux des témoins</p> <p>-Niveaux de dioxines significativement plus élevés dans les cheveux des travailleurs directement exposés que pour les travailleurs non directement exposés</p> <p>-Existence d'une relation significative entre le niveau de dioxines dans les cheveux et le temps de travail dans les 2 groupes de salariés (exposition directe ou non)</p> <p>- Le profil de dioxines des salariés est proche du profil de dioxines des gaz de combustion plutôt que celui des cendres volantes</p> <p>Certains congénères pourraient être utilisés comme indicateur du niveau de dioxines TEQ dans les cheveux des salariés d'UIOM</p> <p><i>Pas de comparaison avec le niveau de dioxine sanguins des salariés</i></p>

<p>2020 Li (146)</p>	<p>-30 salariés d'une UIOM ancienne (la plupart y travaillant depuis plus de 10 ans) Chine</p>	<p><u>Dioxines</u>: Étude de l'association entre le niveau total de dioxines (PCDD/F) dans les cheveux et dans le sang <i>TEQ (OMS)</i> <i>Comparaison avec les congénères de dioxines présentes au sein des cendres volantes et des fumées de combustion</i></p>	<p>Concentration moyenne en dioxines dans le sérum (TEQ) comparable à celle des études antérieures (28,0 pg TEQ/g de lipide) Profils des congénères PCDD/F dans les cheveux sensiblement différents de ceux du sérum, impliquant que certains PCDD/F dans les cheveux sont diffusés à partir de voies externes Certains congénères présentent cependant une relation linéaire significative entre les cheveux et le sang</p> <p>-Les fumées de combustion sont identifiées comme la principale source de dioxines (PCDD/Fs) dans les cheveux des salariés (à 61, %, source externe), suivi du niveau de dioxines (PCDD/Fs) dans les cheveux (à 37%, source interne)</p> <p>Les cheveux pourraient être utilisés comme matrice alternative pour surveiller l'exposition humaine aux dioxines lorsque les niveaux de dioxines ambiants sont pris en compte</p>
<p>2020 Lu (166)</p>	<p>-89 salariés d'une UIOM -183 riverains appariés, vivant à moins de 8 km de l'UIOM Chine (Shenzhen)</p>	<p><u>Bisphénol (BP)[u]</u>: BPA, BPS, BPF, BPP, BPZ, BPAF, PBAD <u>Métabolites de certains phtalates (PAE)[u]</u>: DMP, DEP, DBP, BzBP, DEHP, DCHP, DOP, DDP, DNP</p>	<p>-Concentration urinaire totales médianes des métabolites de phtalate (mPAE) significativement plus élevée chez les salariés que chez les riverains (respectivement 1020 ng/ml et 375 ng/mL) Niveau de phtalate de monoéthyle (mEP) et de phtalate de monométhyle (mMP) significativement plus élevé dans le groupe exposé</p> <p>-Parmi les mPAE mesurés, le composé le plus abondant est le phtalate de mono-n-butyle (mBP) dans les groupes exposés et témoins, en raison de l'utilisation importante de dibutyl phtalate (DBP)</p> <p>-Pas de différence significative concernant les concentrations urinaires de bisphénol (niveau total ou niveau individuel de chaque bisphénol)</p> <p>-Pas de différences significatives des niveaux urinaires de mPAE ou de BP suivant les zones de travail</p>

<p>2020 Yang (156)</p>	<p>-119 salariés d'une UIOM (dont 84 ouvriers y travaillant depuis plus de trois ans) -215 riverains appariés, vivant à moins de 8 km de l'UIOM <i>Chine (Shenzhen)</i></p>	<p><u>Métaux:</u> As[u], Cd[u], Cr[u], Cu[u], Fe[u], Mn[u], Hg[u], Pb[u], Se[u], Zn[u]</p> <p><u>Estimation des niveaux de dommage oxydatif à l'ADN:</u> Évaluation de l'association entre l'exposition aux métaux lourds et le niveau de 8-OHdG</p>	<p>Concentrations médianes significativement plus élevées chez les salariés d'UIOM pour certains métaux (manganèse, fer et chrome en particulier, mais aussi arsenic et sélénium) Concentrations médianes de certains métaux significativement plus élevées chez les riverains (mercure, cuivre, cadmium, plomb) Pas de différences significatives concernant les concentrations de zinc</p> <p>-Niveau plus élevé de dommages oxydatifs de l'ADN chez les salariés (concentration de 8-OHdG significativement plus élevée) Pas de corrélation significative entre les niveaux urinaires de métaux lourds et les concentrations de 8-OHdG</p>
<p>2021 Bena (97)</p>	<p>35 salariés d'une UIOM moderne mise en service en 2013, divisés en 2 groupes: -26 travailleurs en usine (superviseurs, opérateurs de la salle de contrôle, grutiers, opérateurs principaux) -9 travailleurs administratif <i>Italie (Turin)</i></p>	<p><u>Métaux:</u> As[u], Be[u], Cd[u], Co[u], Cr[u], Cu[u], Hg[u], Ir[u], Mn[u], Ni[u], Pb[sg], Pd[u], Pt[u], Rh[u], Sb[u], Sn[u], Tl[u], V[u], Zn[u]</p> <p><i>Mesure des concentrations avant l'ouverture de l'UIOM, puis après 1 et 3 ans</i></p>	<p>Concentrations urinaires et sanguines médianes des métaux inférieures à celles rapportées dans la littérature et aux valeurs de référence professionnelles lors des 3 séries de mesures. Diminution de la concentration de la plupart des métaux au fil du temps Résultats cohérents avec ceux rapportés pour la cohorte de riverains (étude similaire réalisé en 2018) et avec les mesures de l'air ambiant réalisées dans l'usine <i>Limite: Un certain nombre de travailleurs sous-traitants travaillant dans des zones avec une exposition a priori plus fortes n'ont pu être suivis. Un échantillonnage biologique ponctuel a pu cependant être réalisé dans un groupe de travailleurs sous-traitants présentant un potentiel d'exposition plus élevé (analyse en cours)</i></p>
<p>2022 Peng (125)</p>	<p>-49 salariés d'une UIOM -49 témoins appariés <i>Chine</i></p>	<p><u>Dioxines:</u> PCDD/ PCDF [sg] TEQ (OMS)</p>	<p>-Concentrations de dioxines significativement plus élevées chez les salariés d'UIOM par rapport aux témoins, après ajustement des facteurs de confusion (respectivement 18,28 pg TEQ/ g de lipide et 5,81 pg TEQ /g de lipide)</p> <p>-Augmentation du niveau de PCDF des salariés d'UIOM avec la durée de travail -Concentration totale de dioxines plus élevée chez les travailleurs seniors (superviseurs de production) par rapport au personnel des opérations de routine -Pas de relation significative entre les concentrations de dioxines et les habitudes alimentaires.</p>

<p>2022 Wu (168)</p>	<p>-73 salariés d'une UIOM -97 témoins Chine (Shenzhen) Étude transversale</p>	<p><u>Esters organophosphorés</u>: Huit métabolites d'esters organophosphorés (mEOP) [u] <i>Les EOP sont souvent utilisés comme retardateurs de flamme ou plastifiants dans des produits polyvalents, et peuvent donc être retrouvés et libérés lors du processus d'incinération</i></p> <p><u>Estimation des niveaux de dommage oxydatif à l'ADN</u>: Concentrations de 8-OHdG[u]</p>	<p>Taux de détection global des métabolites d'EOP de 82,2 à 100 % (<i>pas de précisions complémentaires suivant les groupes</i>) Concentrations significativement plus élevées de certains mOEP chez les salariés d'UIOM</p> <p>-Niveau plus élevé de dommages oxydatifs de l'ADN chez les salariés (concentration de 8-OHdG significativement plus élevée) Absence de corrélation entre les taux de mEOPs avec les niveau de 8-OHdG</p>
<p>2022 Xiao (161)</p>	<p>-77 salariés d'une UIOM -101 témoins Chine</p>	<p><u>HAP</u>: Neuf métabolites de HAP mono-hydroxylés (OH-HAP)[u]: 1-OHP, (1+2)-Naphtol, 2-Hydroxyfluorène, (1+2+3+4+9)-Hydroxyphénanthrène</p> <p><u>Estimation des niveaux de dommage oxydatif à l'ADN</u>: Concentrations de 8-OHdG [u]; Exploration d'éventuelles associations entre les concentrations des OH-PAH et de 8-OHdG</p>	<p>-Concentrations de (1+2)-Naphtol, de (1+4+9)-Hydroxyphénanthrène et concentration totale de OH-HAP significativement plus élevées dans le groupe exposé que dans le groupe témoin -Pas de différence significative des concentrations de 1-OHP, de 2-Hydroxyfluorène et de (2+3)-Hydroxyphénanthrène -Concentration totale de OH-HAP plus élevée chez les salariés n'ayant pas pris de mesures de protection</p> <p>-Niveau plus élevé de dommages oxydatifs de l'ADN chez les salariés (concentration de 8-OHdG significativement plus élevée) Absence de corrélation entre les taux de OH-HAP et de 8-OHdG</p> <p><i>Les résultats suggèrent que l'exposition professionnelle peut augmenter les dommages oxydatifs de l'ADN, mais l'utilisation d'un seul biomarqueur des dommages oxydatifs n'est pas suffisant. Une exploration plus approfondie du lien possible entre l'exposition aux HAP et le stress oxydatif est nécessaire.</i></p>

Annexe n° 6 : Présentation des valeurs biologiques relevées dans différentes études pour les salariés d'UIOM (plombémie, cadmium[u] , 1-OHP[u])

*Comparatifs des taux de **plombémie** de salariés d'UIOM dans différentes études*

Date	Référence	Plombémie [Min-Max]
1981	<i>Pudill et al (151)</i>	Moyenne: 237 µg/L . 6 salariés ont une plombémie supérieures à 350 µg/L
1985	<i>Reimann et al (154)</i>	Médiane: 110 µg/L
1992	<i>Bresnitz et al (78)</i>	Moyenne: 108,4 µg/L [0-240] (Groupe fortement exposé); 103,8 µg/L [0-440] (Groupe faiblement exposé)
1992	<i>Malkin et al (152)</i>	Moyenne: 110 µg/L [52-287]
1994	<i>Donghi et al (90)</i>	Moyenne: 113 µg/L [30-330]
1997	<i>Hoffman et al (99)</i>	Sur 1371 analyses réalisées: 73,7% <100 µg/L; 22% compris entre 100 et 200 µg/L; 3,9% compris en 200 et 300 µg/L; 0,4% compris entre 300 et 350 µg/L.
1998	<i>Lello et al (153)</i>	Médiane: 280 µg/L [160-430]
1999	<i>Tong et al (94)</i>	Moyenne de chaque groupe de salarié (exploitation, maintenance, administratif) < 50 µg/L
2003	<i>Hours et al (74)</i>	Moyenne : Salariés de maintenance : 91,1 ± 55 µg/L (; Opérateurs fours: 75,9 ± 46 µg/L ; Pontiers et opérateurs d'équipements: 74,7 ± 46 µg/L . Un des agents de traitement des fumées présentaient une plombémie élevée (310 µg/L)
2005	<i>Chao et al (155)</i>	[70-136 µg/L]
2020	<i>Bena et al (97)</i>	Après le démarrage de l'usine, plombémies médianes des salariés administratifs d'exploitation respectivement < 21 µg/L et < 19 µg/L
2023	<i>Étude actuelle</i>	Médiane: 35,00 µg/L [10-131] (64,05 µg/L sur la période 2013-2015; 16,95 µg/L sur la période 2019-2022)

*Comparatifs des taux de **cadmiurie** de salariés d'UIOM dans différentes études*

Date	Référence	Cadmium urinaire [Min-Max]
1992	<i>Bresnitz et al (78)</i>	Moyenne: - 2,16 µg/L [2 - 5] (≈ 1,54 µg/g de créat) : Salariés à forte exposition - 2,00 µg/L [non précisé] (≈ 1,43 µg/g de créat) : Salariés à faible exposition
1999	<i>Tong et al (94)</i>	> 5 µg/g de créat [6,9 - 44] pour 7 salariés sur 103 (principalement ouvriers de maintenance et mécaniciens)
2003	<i>Maitre et al (95)</i>	Médiane: - 0,40 µg/g de créat [0,05-2,63] : Début de poste - 0,37 µg/g de créat [0,08-1.09] : Fin de poste
2020	<i>Bena et al (97)</i>	Médiane des salariés administratifs et d'exploitation respectivement < 0,46 µg/L et < 0,68 µg/L (≈ < 0,33 et < 0,49 µg/g de créat), après le démarrage de l'usine
2020	<i>Yang et al (156)</i>	Moyenne: 0,70 µg/L [0.10-11.0] (≈ 0,5 µg/g de créat)
2023	<i>Étude actuelle</i>	Médiane: 0,20 µg/g de créat [0,10 - 0,80]

Comparatifs des taux de **1-OHP urinaire** de salariés d'UIOM dans différentes études

Date	Référence	1-OHP urinaire [Min-Max]
1992	Angerer et al (160)	Moyenne: 0,32 ± 0,19 µg/g créat
2000	Chang et al (119)	< 1 µmol/mol de créat (< 1,93 µg/g de créat)
2001	Manrique et al (100)	<0,5 µmol/mol de créat (< 0,97 µg/g de créat)
2003	Maitre et al (95)	Médiane: -0.06 µg/g de créat [0.02–1.20] en début de poste -0.06 µg/g de créat [0.02–0.25] en fin de poste
2003	Sul et al (164)	Moyenne: 0.57 ± 0.46 µmol/mol de créat (≈ 1,10 µg/g de créat)
2004	Hemon-Delsaux et al (115)	Médiane: UIOM en fonctionnement: <0,1 µmol/mol de créat (< 0,19 µg/g de créat) Arrêt des fours [Maintenance ?]: ≈ 0,4 µmol/mol de créat (≈ 0,77 µg/g de créat)
2007	Ichiba et al (162)	Médiane: 0.067 µg/g de créat (Début du poste) 0.044 µg/g de créat (Fin de poste)
2016	Lin et al (163)	Moyenne: 0,014 ± 0.027 µg/g de créat en début de poste 0.012 ± 0.035 µg/g de créat en fin de poste
2023	Étude actuelle	Médiane: 0,03 µg/g de créat [0,02 - 0,13]

Annexe n° 7 : Effets sanitaires du plomb

Source: Santé Publique France - Imprégnation de la population française par le plomb. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016 (182)

Effets sanitaires du plomb sur les enfants et les adultes en fonction du niveau d'imprégnation : synthèse des données de la littérature

Plombémie ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Effets
> 2 000	<ul style="list-style-type: none"> Risque de décès chez l'adulte Risque d'encéphalopathie sévère chez l'adulte
2 000 – 1 500	<ul style="list-style-type: none"> Hépatite cytolytique Syndrome de Toni-Debré-Fanconi
1 500 – 1 000	<ul style="list-style-type: none"> Risque d'intoxication mortelle, chez l'enfant Risque élevé d'encéphalopathie sévère, chez l'enfant Risque de neuropathie périphérique cliniquement évidente, chez l'adulte Colique saturnine
1 000 – 700	<ul style="list-style-type: none"> Anémie Risque d'encéphalopathie sévère chez l'enfant Signes électriques de neuropathie périphérique décelables au niveau individuel
700 – 500	<ul style="list-style-type: none"> Élévation de l'ALA* urinaire au-dessus de la valeur limite Douleurs abdominales et ralentissement du transit digestif Risque de néphropathie glomérulaire et tubulo-interstitielle (après exposition prolongée)
500 – 400	<ul style="list-style-type: none"> Troubles mentaux organiques avérés, chez l'adulte Risque d'encéphalopathie subaiguë, chez l'enfant Premiers signes d'atteinte tubulaire rénale Diminution du taux d'hémoglobine (anémie seulement au-delà de 700-800 $\mu\text{g L}^{-1}$)
400 – 200	<ul style="list-style-type: none"> Diminution des vitesses de conduction nerveuse Élévation de la ZPP* Inhibition de la synthèse de la vitamine D Augmentation du délai nécessaire pour concevoir chez les hommes exposés Augmentation du risque d'avortement, en cas d'exposition pendant la grossesse
200 – 100	<ul style="list-style-type: none"> Altérations du spermogramme
100 – 50	<ul style="list-style-type: none"> Retard de la maturation sexuelle chez l'enfant Augmentation du risque de retard pubertaire Augmentation du risque d'hypertension artérielle gravidique Inhibition de l'ALAD*
< 50	<ul style="list-style-type: none"> Troubles cognitifs, chez l'enfant Diminution de l'acuité auditive, chez l'enfant (preuves limitées chez l'adulte) Élévation de la pression artérielle et du risque d'HTA* chez l'adulte Diminution du débit de filtration glomérulaire chez l'adulte et l'adolescent Augmentation du risque de maladie rénale chronique chez l'adulte Augmentation du risque de petit poids de naissance, en cas d'exposition in utero Inhibition du développement staturo-pondéral chez l'enfant

* ALA : Acide δ -aminolévulinique

* ALAD : Déshydratase de l'acide δ -aminolévulinique

* HTA : Hypertension artérielle

* ZPP : Protoporphyrine-zinc

Sources : Haut Conseil de la santé publique. Détermination de nouveaux objectifs de gestion des expositions au plomb. Paris, 2014, 101 p. <http://www.hcsp.fr/cgibin/consultation.asp?id=section=1&id=document=1444>

National Toxicology Program (US DHHS). "Health Effects of Low-level Lead Evaluation", 2012. <http://ntp.niehs.nih.gov/pubnsa/ntp/htdocs/leadmono/leadmono.html>

Annexe n° 8 : Documents de référence mentionnant les impacts sanitaires potentiels pour les salariés d'UIOM

Date	Référence
1988	Environmental implications of incineration of municipal solid waste and ash disposal Lisk D.J. - Science of The Total Environment. 1988 Aug 1;74:39-66
1995	« Faut-il encore avoir peur de nos déchets ménagers ? » Une évaluation sanitaire des techniques de traitement Société française de Santé Publique, Société régionale de Santé Publique Rhône-Alpes, Réseau Santé Déchets Association Régionale Rhône-Alpes pour la Promotion de la Santé par l'Hygiène - Collection Santé et Société n° 5. 1999
1995	Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes Poulsen OM, Breum NO, Ebbenhøj N, Hansen AM, Ivens UI, van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, et al. Science of The Total Environment.. 1995 May 19;168(1):33-56.
1999	Solid Waste Management Health and Safety Risks: Epidemiology and Assessment to Support Risk Reduction James D Englehardt, Lora E Fleming, Judy A Bean. 1999
1999	L'incinération des déchets et la santé publique : bilan des connaissances récentes et évaluation du risque Société Française de Santé Publique. Collection Santé & Société n°7. 1999
2000	Déchets et risques pour la santé Keck G, Vernus E. - Techniques de l'Ingénieur. 2000
2000	Waste Incineration & Public Health National Research Council (US) Committee on Health Effects of Waste Incineration - Washington (DC): National Academies Press (US); 2000.
2001	Health Effects of Waste Incineration: A Review of Epidemiologic Studies Hu SW, Shy CM. J - Air Waste Manag Assoc. 2001 Jul;51(7):1100-9.
2001	Incineration and human health: State of Knowledge of the Impacts of Waste Incinerators on Human Health. Allsopp M., Costner P., Johnston P. Greenpeace Research Laboratories. 2001
2002	Toxicité associée aux déchets ménagers et à leurs filières de traitement Gérard Keck. 2002
2003	Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste - A Literature Review Crowley, D., Staines, A., Collins, C., Bracken, J.T., Bruen, M., Fry, J., Hrymak, V., Malone, D., Magette, B., Ryan, M.F., & Thunhurst, C. 2003
2003	Recommandations concernant les études épidémiologiques visant à améliorer la connaissance sur les impacts sanitaires des incinérateurs. Institut National de Veille Sanitaire. 2003
2003	Health hazards and waste management

	Rushton L. - Br Med Bull. 2003;68:183-97.
2004	Health effects of exposure to waste incinerator emissions: A review of epidemiological studies Franchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. - Ann Ist Super Sanita. 2004;40(1):101-15.
2004	Caractérisation des risques chimiques professionnels de la filière de gestion des déchets : Analyse à priori des risques potentiels Savary B., Vincent R., Rodriguez C., Chollot A. -INRS
2004	Les incinérateurs d'ordures ménagères : quels risques ? quelles politiques ? Comité de la Prévention et de la Précaution (CPP) - Ministère de l'Écologie, du Développement durable, de l'Aménagement du territoire. 2004
2004	Etat de l'Art et pratiques au niveau international concernant la prise en compte des impacts sanitaires des filières de traitement des déchets RECORD - Étude n°02-0661/1A. 2004
2005	Health risk related to municipal waste incineration Starek Andrzej - Med Pr. 2005;56(1):55-62.
2005	Aide à l'identification des risques CMR (Cancérogène, Mutagène et toxique pour la Reproduction) pour les filières de traitement des déchets RECORD - Études n° 02-0660/1A et 04-0660/2A. 2005
2006	Exposition des travailleurs du traitement des déchets aux polluants chimiques. Info Santé Déchets -Numéro 54. 2006
2006	Salute in Cenere ? [Incineration and health: where from here ?] Bianchi F., Franchini M, Linzalone N.- SNOP 2006;67(21):20-4 (in Italian).
2008	Inceneritori e rischi per la salute umana: lo stato dell'arte [Waste incinerator and human health: a state of the art review] Signorelli C, Riccò M, Vinceti M. - Ann Ig. 2008 May-Jun;20(3):251-77. Italian.
2008	Risques liés aux déchets - À quoi sont exposés riverains et salariés ? Dab W., Florence S., Le Bâcle C, Chollot ., Delepine A., Muller P., Keck G., Empereur Bissonet P. - Le Concours Médical N° 17. PP. 871. 2008
2009	Human biomonitoring to define occupational exposure and health risks in waste incinerator plants Linzalone N., Bianchi F - International Journal of Environment and Health, Vol. 3, No. 1. 2009
2009	Utilisation des tests de génotoxicité pour la surveillance de l'exposition des travailleurs dans l'industrie du traitement et recyclage des déchets RECORD - Étude n°07-0667/1A. 2009
2009	Effets sur la santé des incinérateurs d'ordures ménagères : résultats d'un groupe de travail d'experts de l'OMS / Mitis F., Martuzzi M. - Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire, n°7-8, p.74-6.2009
2009	Synthèse des connaissances sur les impacts environnementaux et les risques sanitaires de l'incinération, de la méthanisation et des centres de stockage Saint-Denis M., BIOTOX - Étude pour le SYCTOM. 2009
2009	Review of International Best Practices of Environmental Surveillance for Energy-From Waste Facilities Jacques Whitford. Prepared for Durham Region, Ontario, Canada. 2009

2009	Incineration of Waste and Reported Human Health Effects Health Protection Scotland. 2009
2009	Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste. Porta D, Milani S, Lazzarino AI, Perucci CA, Forastiere F. - Environ Health. 2009; 8: 60.
2011	Gestione dei rifiuti solidi urbani e termovalorizzatori: impatto sanitario, recupero energetico e sindrome "NIMBY" [Gestion des déchets solides municipaux et usines de production d'énergie à partir de déchets : impact sur la santé, valorisation énergétique et syndrome "NIMBY"] Signorelli C, Riccò M, Capolongo S, Buffoli M, Boccuni S, Odone A, Loconte VL - Igiene e sanita pubblica. 2011
2012	Effets sanitaires liés à la gestion des déchets ménagers et assimilés - Le point sur les données actuellement disponibles Anzivino-Viricel L., Bruneau E., Carretier J., Falette N, , Fervers B., Guye O., Roberdel L. - AMORCE. 2012
2012	Gestion des déchets ménagers et assimilés : bilan des connaissances et évaluation des effets sanitaires en population générale et au travail. Anzivino-Viricel L., Falette N, Carretier J., Montestrucq ., Guye O., Thilani P., Fervers B. - Environnement, Risques & Santé. Environ Risque Sante. 360-77. 2012
2012	Review of Health Risks for Workers in the Waste and Recycling Industry Searl A, Crawford J. - Institute of Occupational and Environmental Medicine (IOM) - Research Report 2012
2014	The Impact of Waste Incineration on Human Beings and The Environment Wielgosinsk, G., Targaszewska A. - Ecological Chemistry and Engineering. Chemia i Inzynieria Ekologiczna. 2014
2017	Biomonitoring of toxic metals in incinerator workers: A systematic review Mauriello MC, Sbordone C, Montuori P, Alfano R, Triassi M, Iavicoli I, Manno M. - Toxicol Lett. 2017 Apr 15;272:8-28. 2017
2019	A systematic review on biomonitoring of individuals living near or working at solid waste incinerator plants Campo L, Bechtold P, Borsari L, Fustinoni S. - Crit Rev Toxicol. 2019 Jul;49(6):479-519. 2019
2019	The health impacts of waste incineration: a systematic review Tait PW, Brew J, Che A, Costanzo A, Danyluk A, Davis M, Khalaf A, McMahon K, Watson A, Rowcliff K, Bowles D. - Aust N Z J Public Health. 2020 Feb;44(1):40-48. 2020
2019	Risques sanitaires pour les professionnels de la gestion des déchets en France Anses - Rapport d'expertise collective. 2019
2020	Health effects of living near an incinerator: A systematic review of epidemiological studies, with focus on last generation plants Negri E, Bravi F, Catalani S, Guercio V, Metruccio F, Moretto A, La Vecchia C, Apostoli P. - Environ Res. 2020 May;184:109305. 2020
2021	Health Risk Related to Waste Incineration Choi Y, Ochirpurev B, Chae H, Eom S, Kim Y, Kim H. - Journal of Environmental Health Sciences 2021;47:20-35.

Bibliographie

1. Article L541-1-1 - Code de l'environnement.
2. Article R541-8 - Code de l'environnement.
3. Article L2224-14 - Code général des collectivités territoriales.
4. Expertises, Déchets, De quoi parle-t-on ?, Types de déchets [Internet]. ADEME. [cité 11 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/types-dechets>
5. ADEME. Déchets Chiffres-clés - Edition 2020. 2020. (Faits et Chiffres). Report No.: 010692.
6. ADEME, IN NUMERI, DESPLATS R, MAHE C. Installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en France. 2017. (Expertises).
7. ADEME. MODECOM 2017 - Campagne nationale de caractérisation des déchets ménagers et assimilés. 2021. (Faits et Chiffres). Report No.: 011318.
8. ADEME. La composition des ordures ménagères et assimilés en France – Campagne nationale de caractérisation 2007 - MODECOM. 2010.
9. Levilly R, Chollot A, Barbé O, Boisseau P, Brugionni M, Cavereau D, et al. Installation de traitement thermique des déchets non dangereux et DASRI - Brochure. INRS; 2015. Report No.: ED 6222.
10. FNADE. Traitement thermique de déchets non dangereux. 2013.
11. Arrêté du 20 septembre 2002 relatif aux installations d'incinération et de co-incinération de déchets non dangereux et aux installations incinérant des déchets d'activités de soins à risques infectieux.
12. Observatoire Régional de la Santé d'Île-de-France (ORS), Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Île-de-France (IAURIF). L'incinération des déchets en Île-de-France : Considérations environnementales et sanitaires. 2005.
13. RECORD. Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux. Etat des lieux et perspectives. 2015 p. 135. Report No.: 13-0241/1A.
14. Institut National de l'Economie Circulaire. Etude - La valorisation des mâchefers - Une technique d'économie circulaire inscrite dans les territoires. 2020.
15. Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière. :50.
16. RECORD, Benadda B. Etat de l'art concernant la mesure des émissions et le traitement des métaux dans les fumées. Cas du cadmium, du mercure et du plomb. 2002.
17. Keck G, Vernus E. Déchets et risques pour la santé. Environnement. 2000;
18. INRS, Savary B, Vincent R, Rodriguez C, Chollot A. Caractérisation des risques chimiques et biologiques professionnels de la filière de gestion des déchets: analyse a priori des risques potentiels. 2004;
19. Jung CH, Matsuto T, Tanaka N, Okada T. Metal distribution in incineration residues of municipal solid waste (MSW) in Japan. Waste Manag. 2004;24(4):381-91.
20. Kaibouchi S. Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonation et influence de la collecte sélective : contribution to the study of stabilization mechanisms by carbonation and selective collection impact [Thèse de doctorat]. [Lyon]: Lyon, INSA;
21. Mouchet F, Gauthier L, Mailhes C, Jourdain MJ, Ferrier V, Triffault G, et al.

Biomonitoring of the genotoxic potential of aqueous extracts of soils and bottom ash resulting from municipal solid waste incineration, using the comet and micronucleus tests on amphibian (*Xenopus laevis*) larvae and bacterial assays (Mutatox(R) and Ames tests). *Sci Total Environ.* 2006;355(1-3):232.

22. Silkowski MA, Smith SR, Plewa MJ. Analysis of the genotoxicity of municipal solid waste incinerator ash. *Sci Total Environ.* 15 janv 1992;111(2):109-24.

23. Radetski CM, Ferrari B, Cotelle S, Masfaraud JF, Ferard JF. Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leachates. *Sci Total Environ.* 15 oct 2004;333(1):209-16.

24. Chen PW, Liu ZS, Wun MJ, Ran CL. Evaluating the mutagenicity of leachates obtained from the bottom ash of a municipal solid waste incinerator by using a *Salmonella* reverse mutation assay. *Chemosphere.* 1 avr 2015;124:70-6.

25. Wikipedia.fr [Internet]. Disponible sur: <https://www.wikipedia.fr/>

26. INRS. Base de données Biotox - Publications et outils [Internet]. [cité 13 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>

27. Société Française de Santé Publique. L'incinération des déchets et la santé publique: bilan des connaissances récentes et évaluation du risque. Lavoisier. 1999. (Santé et Société n°7).

28. POLDEN. L'incinération des déchets et la santé publique. Projet pour la rédaction du paragraphe : Caractérisation qualitative et quantitative des émissions dans les résidus solides. Villeurbanne; 1998.

29. Article R4222-3 - Code du travail.

30. INRS. Prévenir les risques liés aux poussières [Internet]. [cité 16 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/risques/poussieres/ce-qu-il-faut-retenir.html>

31. Circulaire du 09/05/85 relative au commentaire technique des décrets nos 84-1093 et 84-1094 du 7/12/1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail. Art. R. 232-1-5.

32. CITEPA. DIOXINES ET FURANES- Evolution des émissions de PCDD-F de 1990 à 2018 pour la France métropolitaine [Internet]. [cité 20 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.citepa.org/fr/2020-pcdd-f/>

33. AIR PARIF. Étude des dioxines chlorées et bromées dans l'air ambiant à proximité de sources diffuses [Internet]. 2018. Disponible sur: <https://www.airparif.asso.fr/sites/default/files/pdf/rapport-dioxines-20180824.pdf>

34. Article R4412-2 - Code du travail.

35. Article R4411-6 - Code du travail.

36. Article R4412-3 - Code du travail.

37. Article R4412-60 - Code du travail.

38. Article L4121-1 - Code du travail.

39. Article L4121-2 - Code du travail.

40. Articles R4121-1 à R4121-4 - Code du travail.

41. Article R4412-68 - Code du travail.

42. INRS. Mesure des expositions aux agents chimiques et biologiques. Réglementation - Risques [Internet]. [cité 14 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/reglementation.html>

43. Article R4412-76 - Code du travail.
44. Article R4412-27 - Code du travail.
45. Articles R4412-77 et R4412-78 - Code du travail.
46. Articles R4412-27 et R4412-28 -Code du travail.
47. Article D4152-10 - Code du travail.
48. Articles R4412-44 à R4412-57 - Code du travail.
49. Article R4412-152 - Code du travail.
50. Article R4624-24 - Code du travail.
51. Arrêté du 28 février 1995 pris en application de l'article D. 461-25 du code de la sécurité sociale fixant le modèle type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen dans le cadre du suivi post-professionnel des salariés ayant été exposés à des agents ou procédés cancérogènes.
52. Article D461-25 - Code de la sécurité sociale.
53. Article L4624-2-1 - Code du travail.
54. INRS. A propos des fiches toxicologiques. 2023.
55. Polyexpositions. Mélanges de substances chimiques - Risques - INRS [Internet]. [cité 22 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/risques/polyexpositions/melanges-substances-chimiques.html>
56. INRS. Fiches toxicologiques - Publications et outils [Internet]. [cité 16 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>
57. Agents Classés par les Monographies du CIRC, Volumes 1–130 – Monographies du CIRC sur l'Identification des Dangers Cancérogènes pour l'Homme [Internet]. [cité 19 mars 2022]. Disponible sur: <https://monographs.iarc.who.int/fr/agents-classes-par-les-monographies-du-circ-2/>
58. INRS. Liste des substances chimiques classées CMR - Outil [Internet]. [cité 19 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil66>
59. Annexe II de l'article R. 461-3 du code de la sécurité sociale - Tableaux des maladies professionnelles.
60. INRS. Liste des VLEP françaises - Outil [Internet]. [cité 19 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65>
61. ANSES. Le plomb et ses composés inorganiques - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. 2022 août p. 180. Report No.: Saisine n°2013-SA-0042-VLEP Plomb.
62. A. VILLA. Dioxines - Effets toxiques résultant d'expositions professionnelles ou environnementales - DU Toxicologie [Internet]. Centre Antipoison - Consultation de pathologies professionnelles - Hôpital Fernand Widral Paris; Disponible sur: http://babel-6.ap-hop-paris.fr/paris/DIU_Toxx_Med_2017_2018/20180216/DIU_Toxx_Med_2017_18_A_Villa_Dioxines.pdf
63. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS). Technische Regeln für Gefahrstoffe - Dioxine - TRGS 557 [Internet]. 2008. Disponible sur: https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-557.pdf?__blob=publicationFile
64. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement [Internet]. [cité 16 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/revue/ADMP/presentation/archives-des-maladies-professionnelles-et-de-l-env>

65. Portail documentaire INRS [Internet]. [cité 1 juin 2022]. Disponible sur: https://portaildocumentaire.inrs.fr/default/accueil-portal.aspx?_lg=fr-FR
66. Catalogue SUDOC [Internet]. [cité 16 mars 2022]. Disponible sur: <http://www.sudoc.abes.fr/cbs/xslt/>
67. Mauriello MC, Sbordone C, Montuori P, Alfano R, Triassi M, Iavicoli I, et al. Biomonitoring of toxic metals in incinerator workers: A systematic review. *Toxicol Lett.* 15 avr 2017;272:8-28.
68. Campo L, Bechtold P, Borsari L, Fustinoni S. A systematic review on biomonitoring of individuals living near or working at solid waste incinerator plants. *Crit Rev Toxicol.* 16 sept 2019;49:1-41.
69. Choi YS, Ochirpurev B, Chae HY, Eom SY, Kim YD, Kim H. Health Risk Related to Waste Incineration. *J Environ Health Sci.* 2021;47(1):20-35.
70. Tait PW, Brew J, Che A, Costanzo A, Danyluk A, Davis M, et al. The health impacts of waste incineration: a systematic review. *Aust N Z J Public Health.* févr 2020;44(1):40-8.
71. Negri E, Bravi F, Catalani S, Guercio V, Metruccio F, Moretto A, et al. Health effects of living near an incinerator: A systematic review of epidemiological studies, with focus on last generation plants. *Environ Res.* 1 mai 2020;184:109305.
72. Gustavsson P. Mortality among workers at a municipal waste incinerator. *Am J Ind Med.* 1989;15(3):245-53.
73. Rapiti E, Sperati A, Fano V, Dell'Orco V, Forastiere F. Mortality among workers at municipal waste incinerators in Rome: a retrospective cohort study. *Am J Ind Med.* mai 1997;31(5):659-61.
74. Hours M, Anzivino-Viricel L, Maitre A, Perdrix A, Perrodin Y, Charbotel B, et al. Morbidity among municipal waste incinerator workers: a cross-sectional study. *Int Arch Occup Environ Health.* juill 2003;76(6):467-72.
75. Kitamura K, Kikuchi Y, Watanabe S, Waechter G, Sakurai H, Takada T. Health effects of chronic exposure to polychlorinated dibenzo-P-dioxins (PCDD), dibenzofurans (PCDF) and coplanar PCB (Co-PCB) of municipal waste incinerator workers. *J Epidemiol.* juill 2000;10(4):262-70.
76. Hu SW. An Epidemiological of Occupational Exposures and Health Effects in Municipal Waste Incinerator Workers. Institut de stomatologie, Université médicale de Zhongshan; 2002. Report No.: NSC91-2320-B-040-047-.
77. Yamamoto K, Kudo M, Arito H, Ogawa Y, TAKATA T. A cross-sectional analysis of dioxins and health effects in municipal and private waste incinerator workers in Japan. *Ind Health.* sept 2015;53(5):465-79.
78. Bresnitz EA, Roseman J, Becker D, Gracely E. Morbidity among municipal waste incinerator workers. *Am J Ind Med.* 1992;22(3):363-78.
79. Charbotel B, Hours M, Perdrix A, Anzivino-Viricel L, Bergeret A. Respiratory function among waste incinerator workers. *Int Arch Occup Environ Health.* févr 2005;78(1):65-70.
80. Coppeta L, Pietroiusti A, Policardo S, Mormone F, Balbi O, Tursi E, et al. Pulmonary functionality among workers of a Central Italy waste-to-energy plant: a retrospective study. *J Occup Med Toxicol Lond Engl.* 2019;14:20.
81. Lu PY, Tsai PJ. Assessing Crystalline Silica Exposures to Municipal Waste Incinerator Demolition Workers [Internet]. 2003. Report No.: IOSH91-A301. Disponible sur:

<https://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/32205>

82. SCHECTER A, Miyata H, Aozasa O, Ohta S, Nakao T, Masuda Y. Chloracne and elevated dioxin and dibenzofuran levels in the blood of two Japanese MSW incinerator workers and of the wife of one worker. *Organohalogen Compd.* 1999;44:247-50.
83. Takata T. Survey on the Health Effects of Chronic Exposure to Dioxins and Its Accumulation on Workers of a Municipal Solid Waste Incinerator, Rural Part of Osaka Prefecture, and the Results of Extended Survey Afterwards. *Ind Health.* 2003;41(3):189-96.
84. Mori I, Ogawa Y, Koda S, Kumagai S, Ueno M. The sex ratio in the offspring of municipal solid waste incinerator workers. *Epidemiology.* juill 2004;15(4):S118.
85. Baccarelli A, Tretiakova M, Gorbanev S, Lomtev A, Klimkina I, Tchibissoff V, et al. Occupation and lung cancer risk in Leningrad Province, Russia. *Med Lav.* 1 mars 2005;96:142-54.
86. Gustavsson P, Evanoff B, Hogstedt C. Increased risk of esophageal cancer among workers exposed to combustion products. *Arch Environ Health.* 1993;48(4):243-5.
87. Petersson N, Vikström P. Arbetsmiljön vid svenska avfallsverk - Sammanställning av undersökningar (L'environnement de travail dans les usines suédoises de gestion des déchets - Compilation d'études). Agence suédoise pour la protection de l'environnement (Naturvårdsverket); 1984. Report No.: Rapport SNV PM 1901.
88. Mozzon D, Brown DA, Smith JW. Occupational exposure to airborne dust, respirable quartz and metals arising from refuse handling, burning and landfilling. *Am Ind Hyg Assoc J.* févr 1987;48(2):111-6.
89. Tharr D. Case Studies: Workplace Exposures at a Waste-to-Energy Facility. *Appl Occup Environ Hyg.* 1 juill 1991;6(7):573-4.
90. Donghi R, Quaianni T, Baj A. Valutazione del rischio da polveri totali e da metalli in un impianto per lo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (Évaluation des risques liés aux poussières totales et aux métaux dans une usine d'élimination des déchets solides municipaux). In Milan: Societa' Nazionale Operatori Della Prevenzione (SNOP); 1994.
91. Kinnes GM, Haley KW, Krake AM. Health Hazard Evaluation Report No. HETA-90-0329-2482. New York City: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) - U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio; 1995 p. 54. Report No.: HETA-90-0329-2482.
92. Rahkonen P. Airborne Contaminants At Waste Treatment Plants. *Waste Manag Res.* 1 sept 1992;10(5):411-21.
93. Esswein EJ, Tepper A. Health Hazard Evaluation Report No. HETA 91-0366-2453. Chester, Pennsylvania: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) - U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, Ohio; 1994 p. 34. Report No.: HETA 91-0366-2453.
94. Tong YH. Assessment of Occupational Exposure to Inorganic and Organic Substances at Municipal Solid Waste Incinerator (I) (都市垃圾焚化爐操作員工無機及有機物質暴露風險評估(I)). Taiwan: Université Nationale Cheng Kung (NCKU)- Institut de la santé environnementale - Département de médecine et d'hygiène; 1999. Report No.: NSC 88-2314-B-006-007.
95. Maître A, Collot-Fertey D, Anzivino L, Marques M, Hours M, Stoklov M. Municipal waste incinerators: air and biological monitoring of workers for exposure to particles, metals, and organic compounds. *Occup Environ Med.* août 2003;60(8):563-9.

96. Eriksson J. Study of Potential Health Risks in Connection with Handling of Bottom Ash and Bottom Ash Water at a Municipal Waste Incineration Plant (Utredning av potentiella hälsorisker i samband med slagg- och slaggvattenhantering vid Hedenverket, Karlstad) [Internet]. [Karlstad, Sweden]: Uppsala University (Institutionen för Geovetenskaper); 2004 [cité 21 mars 2023]. Disponible sur: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-88863>
97. Bena A, Oreggia M, Gandini M, Bocca B, Ruggieri F, Pino A, et al. Human biomonitoring of metals in workers at the waste-to-energy incinerator of Turin: An Italian longitudinal study. *Int J Hyg Environ Health*. avr 2020;225:113454.
98. RECORD. Les composés volatils dans les déchets : origine, flux, classements. 2012 p. 523. Report No.: 10-0670/1A.
99. Hoffman BH, Tuomanen B, Price R, Beaulieu HJ. Biological Monitoring of Employees with Potential Exposures to Inorganic Lead and Cadmium at Municipal Solid Waste Resource Recovery, or Trash-to-Energy, Facilities. *Appl Occup Environ Hyg*. 1 juill 1997;12(7):470-9.
100. Manrique N, Stoklov M, Richioud M, Perdrix A, Maitre A. Exposition aux hydrocarbures polycycliques pendant la maintenance des fours des usines d'incinération d'ordures ménagères (UIOM). *Arch Mal Prof Environ*. 2001;62(3):203-4.
101. Tolvanen OK, Hänninen KI. Occupational hygiene in a waste incineration plant. *Waste Manag*. 1 janv 2005;25(5):519-29.
102. Raemdonck A, Koppen G, Bilau M, Willems JL. Exposure of maintenance workers to dioxin-like contaminants during the temporary shutdown of a municipal domestic solid waste incinerator: a case series. *Arch Environ Occup Health*. 2006;61(3):115-21.
103. Searl A, Crawford J. Review of Health Risks for workers in the Waste and Recycling Industry. 2012.
104. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). IFA-Gefahrstoffliste 2021- Gefahrstoffe am Arbeitsplatz [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4351>
105. BAuA. TRGS-557 Dioxine [Internet]. 2008 [cité 20 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-557.html>
106. Government of Japan. Dioxins. 2012.
107. Ontario Ministry of the Environment. Ontario's Ambient Air Quality Criteria [Internet]. 2012. Disponible sur: <http://www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf>
108. Balestier A, Fillol C, Gane J, Oleko A, Saoudi A, Zeghnoun A. Imprégnation de la population française par les polychlorobiphényles, dioxines et furanes. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016 [Internet]. *Santé Publique France*; 2021 p. 148. (Études et enquêtes). Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/import/impregnation-de-la-population-francaise-par-les-polychlorobiphenylenes-dioxines-et-furanes.-programme-national-de-biosurveillance-esteban-2014-2016>
109. Stockmann R, Hahn JU, Lichtenstein N, Nies E, Pflaumbaum W, Böckler M, et al. Dioxine am Arbeitsplatz (Dioxines sur le lieu de travail). Sankt Augustin: HauptVerband der gewerblichen BerufsGenossenschaften (HVBG); 1997. Report No.: ISSN: 0173-0387.

110. Hu SW, Cheng TJ, ChangChien GP, Chan CC. Association between dioxins/furans exposures and incinerator workers' hepatic function and blood lipids. *J Occup Environ Med.* juin 2003;45(6):601-8.
111. Sweetman A, Keen C, Healy J, Ball E, Davy C. Occupational exposure to dioxins at UK worksites. *Ann Occup Hyg.* juill 2004;48(5):425-37.
112. Shih SI, Wang YF, Chang JE, Jang JS, Kuo FL, Wang LC, et al. Comparisons of levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans in the surrounding environment and workplace of two municipal solid waste incinerators. *J Hazard Mater.* 11 oct 2006;137(3):1817-30.
113. Li J, Dong H, Sun J, Nie J, Zhang S, Tang J, et al. Composition profiles and health risk of PCDD/F in outdoor air and fly ash from municipal solid waste incineration and adjacent villages in East China. *Sci Total Environ.* 15 nov 2016;571:876-82.
114. Hu SW, ChangChien GP, Chan CC. PCDD/Fs levels in indoor environments and blood of workers of three municipal waste incinerators in Taiwan. *Chemosphere.* 1 avr 2004;55(4):611-20.
115. Hemon-Delsaux J. Évaluation des niveaux d'exposition professionnelle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques et des pathologies cancéreuses associées. Université Joseph Fourier - Faculté de Médecine de Grenoble; 2004.
116. J.-L. Besombes, A. Maître, O. Patissier, N. Marchand, M. Stoklov, P. Masclet. Etude des HAP particulières à proximité d'un incinérateur d'ordures ménagères. *Arch Mal Prof Environ.* juin 2002;63(3-4):188.
117. Lin CI, Tsai PJ. Exposure and Health-risk Assessments for Municipal Waste Incinerator Demolition Workers Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Université Nationale Cheng Kung (NCKU)- Institut de la santé environnementale et du travail; 2003 p. 112. Report No.: U0026-0812200910402920.
118. Shih TS, Lu PY, Chen CH, Soo JC, Tsai CL, Tsai PJ. Exposure profiles and source identifications for workers exposed to crystalline silica during a municipal waste incinerator relining period. *J Hazard Mater.* 15 juin 2008;154(1-3):469-75.
119. Cheng TY. Assessment of Occupational Exposure to Inorganic and Organic Substances at Municipal Solid Waste Incinerator (II) (都市垃圾焚化爐操作員工無機及有機物質暴露風險評估(II)). Taiwan: Université Nationale Cheng Kung (NCKU)- Institut de la santé environnementale - Département de médecine et d'hygiène; 2000. Report No.: NSC 89-2320-B-006-069.
120. Collot Fertey D. Evaluation des niveaux d'exposition toxique chez des salariés travaillant dans un incinérateur d'ordures ménagères [Thèse de Médecine]. Université Joseph Fourier-Grenoble 1; 1997.
121. Duquesnel B. Approche des risques chimiques des salariés travaillant dans les services d'exploitation et de maintenance au sein d'une usine d'incinération des ordures ménagère [Mémoire de DES]. [Strasbourg]: Université de Strasbourg; 2022.
122. INRS, Levilly R. Exposition aux substances chimiques et aux bioaérosols dans les centres de traitement thermique des déchets non dangereux. *Hygiène Sécurité Trav.* déc 2014;(237):4.
123. Schecter A, Malkin R, Papke O, Ball M, Brandt-Rauf P. Dioxin levels in blood of municipal incinerator workers. *Med Sci Res.* 1 janv 1991;19:331-2.
124. Yamamoto K, Kudo M, Arito H, Ogawa Y, Takata T. Isomer pattern and elimination

of dioxins in workers exposed at a municipal waste incineration plant. *Ind Health*. 2015;53(5):454-64.

125. Peng J, Jiang Y, Ai C, Liu Y, Lin X, Zhou J, et al. Body burden and influencing factors of polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in male workers from a municipal waste incineration plant in China. *Environ Pollut*. 1 avr 2022;305:119272.

126. Lim Y, Yang J, Kim Y, Chang Y, Shin D. Assessment of Human Health Risk of Dioxin in Korea. *Environ Monit Assess*. 1 mars 2004;92(1):211-28.

127. Pöpke O, Ball M, Lis A. Potential occupational exposure of municipal waste incinerator workers with PCDD/PCDF. *Chemosphere*. 1 juill 1993;27(1):203-9.

128. Neumann HD, Althoff B, Pöpke O, Böske J, Bent St, Schmidt Ch, et al. Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane im Blutfett von Mitarbeitern in Müllverbrennungsanlagen. *Stauf - Reinhalt Luft*. 1995;(55):189-92.

129. Schechter A, Pöpke O, Ball M, Lis A, Brandt-Rauf P. Dioxin concentrations in the blood of workers at municipal waste incinerators. *Occup Environ Med*. juin 1995;52(6):385-7.

130. Van Den Hazel P, Frankort P. Dioxin concentrations in the blood of residents and workers at a municipal waste incinerator. *Organohalogen Compd*. 1996;(30):119-22.

131. Gonzalez CA, Kogevinas M, Gadea E, Huici A, Bosch A, Bleda MJ, et al. Biomonitoring study of people living near or working at a municipal solid-waste incinerator before and after two years of operation. *Arch Environ Health*. 2000;55(4):259-67.

132. Kumagai S, Koda S, Miyakita T, Yamaguchi H, Katagi K, Yasuda N. Polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran concentrations in the serum samples of workers at continuously burning municipal waste incinerators in Japan. *Occup Environ Med*. mars 2000;57(3):204-10.

133. Kumagai S, Koda S, Miyakita T, Ueno M. Polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran concentrations in serum samples of workers at intermittently burning municipal waste incinerators in Japan. *Occup Environ Med*. juin 2002;59(6):362-8.

134. Leem JH, Hong YC, Lee KH, Kwon HJ, Chang YS, Jang JY. Health survey on workers and residents near the municipal waste and industrial waste incinerators in Korea. *Ind Health*. juill 2003;41(3):181-8.

135. Kumagai S, Oda H, Tabuchi T, Akasaka S, Kosaka H, Yoshida J, et al. [Relationships between dioxin concentrations in deposited dust and those in serum of workers at municipal waste incineration plants]. *Sangyo Eiseigaku Zasshi*. janv 2004;46(1):1-9.

136. Yang JY, Lim YO, Chang YS, Shin DC. Serum PCDDs/PCDFs Levels for the Residents Living in the Vicinity and Workers of the Municipal Waste Incinerators in Seoul, Korea. *Organohalogen Compd*. 2004;66:2572-678.

137. Yoshida J, Kumagai S, Tabuchi T, Kosaka H, Akasaka S, Oda H. Effects of dioxin on metabolism of estrogens in waste incinerator workers. *Arch Environ Occup Health*. 2005;60(4):215-22.

138. Park H, Ikonomou MG, Kim HS, Choi JW, Chang YS. Dioxin and dioxin-like PCB profiles in the serum of industrial and municipal waste incinerator workers in Korea. *Environ Int*. avr 2009;35(3):580-7.

139. Parera J, Serra-Prat M, Palomera E, Mattioli L, Abalos M, Rivera J, et al. Biological monitoring of PCDD/Fs and PCBs in the City of Mataró. A population-based cohort study (1995-2012). *Sci Total Environ*. 1 sept 2013;461-462:612-7.

140. Park H, Park E, Chang YS. Ten-year time trend of dioxins in human serum obtained

from metropolitan populations in Seoul, Korea. *Sci Total Environ.* 1 févr 2014;470-471:1338-45.

141. Kim BH, Ikonomou MG, Lee SJ, Kim HS, Chang YS. Concentrations of polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, and polychlorinated biphenyls in human blood samples from Korea. *Sci Total Environ.* 5 janv 2005;336(1-3):45-56.

142. Moon CS, Chang YS, Kim BH, Shin D, Ikeda M. Evaluation of serum dioxin congeners among residents near continuously burning municipal solid waste incinerators in Korea. *Int Arch Occup Environ Health.* avr 2005;78(3):205-10.

143. Meester MD, Kiss P, Braeckman L. Occupational dioxin exposure of workers in municipal waste incinerators. *Occup Environ Med.* 1 avr 2018;75(Suppl 2):A401-2.

144. Nakao T, Aozasa O, Ohta S, Miyata H. Survey of human exposure to PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs using hair as an indicator. *Arch Environ Contam Toxicol.* juill 2005;49(1):124-30.

145. Liu LJ, Chen XC, Fu JP, Qing X, Huang JQ, Han JL. Male workers' exposure characteristics of Σ PCDD/F from a municipal solid waste incinerator in south China through hair analysis. *Ecotoxicol Environ Saf.* 30 août 2019;178:105-12.

146. Li M, Tang B, Zheng J, Ma S, Zhuang X, Wang M, et al. PCDD/Fs in paired hair and serum of workers from a municipal solid waste incinerator plant in South China: Concentrations, correlations, and source identification. *Environ Int.* 1 nov 2020;144:106064.

147. Wu YL. Assessment of Dioxins Exposure of Contract Workers for Incinerator Maintenance in North of Taiwan (北部地區都市垃圾焚化爐歲修清爐勞工戴奧辛暴露評估) [Internet] [Document académique]. Université Nationale Cheng Kung; 2002. Disponible sur: <https://ir.lib.ncku.edu.tw/handle/987654321/32160>

148. Dongsheng S, Junzhang L, Baoqi L, Yunqing L. Exposure Assessment of Polychlorinated Dibenzodioxins and Dibenzofurans (PCDD/FS) of Contracted Maintain Workers of Municipal Waste Incinerators Located in Southern Taiwan (台灣南部地區垃圾焚化廠歲修清爐員工戴奧辛暴露評估計畫). Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs, Executive Yuan; 2003.

149. Shih TS, Chen HL, Wu YL, Lin YC, Lee CC. Exposure assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in temporary municipal-waste-incinerator maintenance workers before and after annual maintenance. *Chemosphere.* août 2006;64(9):1444-9.

150. Ministère du travail (Japon). Dioxines dans le sang des travailleurs liés aux travaux de démolition au centre d'embellissement de Toyono-gun (豊能郡美化センター解体工事関係労働者の血液中ダイオキシン類について) [Internet]. Division des enquêtes sur les substances chimiques - Département de la sécurité et de la santé - Bureau des normes du travail - Ministère du travail (Japon); [cité 21 mars 2023]. Disponible sur: https://www.mhlw.go.jp/www2/kisya/kijun/20000712_02_k/20000712_02_k.html

151. Pudill R, Weinand HA. Blei- und Cadmiumbelastung bei Müllverbrennung (Risques liés au plomb et au cadmium dans les installations d'incinération des ordures et des déchets). *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Präventivmedizin.* juill 1981;(7):167-70.

152. Malkin R, Brandt-Rauf P, Graziano J, Parides M. Blood lead levels in incinerator workers. *Environ Res.* 1 nov 1992;59:265-70.

153. Lello R, Nieri A. Urine mutagenicity and hematic lead evaluation of municipal waste

incinerator plant workers. *Ig Mod.* 1 mars 1998;109:313-39.

154. Reimann D, Bloedner CID. Keine erhöhten Schwermetallgehalte (Pb, Hg, Cd) im Blut des Betriebspersonals eines Müllheizkraftwerks (No raised heavy-metal contents (Pb, Hg, Cd) in the blood of company personnel of a garbage incineration plant). *Müll Abfall.* 1985;(3):72-6.

155. Chao C, Hwang K. Arsenic burden survey among refuse incinerator workers. *J Postgrad Med.* 31 déc 2005;51:98-103.

156. Yang D, Liu Y, Liu S, Li C, Zhao Y, Li L, et al. Exposure to heavy metals and its association with DNA oxidative damage in municipal waste incinerator workers in Shenzhen, China. *Chemosphere.* 1 juill 2020;250:126289.

157. Wultsch G, Mišik M, Nersesyan A, Knasmueller S. Genotoxic effects of occupational exposure measured in lymphocytes of waste-incinerator workers. *Mutat Res.* 28 févr 2011;720(1-2):3-7.

158. Deng C, Xie H, Ye X, Zhang H, Liu M, Tong Y, et al. Mercury risk assessment combining internal and external exposure methods for a population living near a municipal solid waste incinerator. *Environ Pollut Barking Essex 1987.* déc 2016;219:1060-8.

159. Wu W. Hazard Analysis of Heavy Metal in a Bottom Ash Treatment Plant (焚化爐底渣處理廠重金屬暴露評估) [Internet]. Taiwan: Université des sciences et de la technologie de Hungkuang- Institut de la sécurité au travail et de la prévention des catastrophes; 2008 p. 96. Disponible sur: <https://hdl.handle.net/11296/nv5qt2>

160. Angerer J, Heinzow B, Reimann D, Knorz W, Lehnert G. Internal exposure to organic substances in a municipal waste incinerator. *Int Arch Occup Environ Health.* 1 févr 1992;64:265-73.

161. Xiao Q, Lü Z, Zhu Z, Zhang D, Shen J, Huang M, et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and the associations with oxidative stress in waste incineration plant workers from South China. *Chemosphere.* sept 2022;303(Pt 3):135251.

162. Ichiba M, Ogawa Y, Mohri I, Kondoh T, Horita M, Matsumoto A, et al. Analysis of urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in incineration workers. *J Occup Health.* mars 2007;49(2):159-64.

163. Lin FC. Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Correlated with Oxidative Stress among Municipal Waste Incinerator Workers (焚化爐作業員工暴露多環芳香烴物質與其尿中氧化傷害之相關性) [Internet] [Document académique]. Université nationale Yang Ming - Institut de la santé environnementale et du travail; 2016. Disponible sur: <https://hdl.handle.net/11296/29knfu>

164. Sul D, Oh E, Im H, Yang M, Kim CW, Lee E. DNA damage in T- and B-lymphocytes and granulocytes in emission inspection and incineration workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Mutat Res.* 8 juill 2003;538(1-2):109-19.

165. Lee SJ, Ikonou MG, Park H, Baek SY, Chang YS. Polybrominated diphenyl ethers in blood from Korean incinerator workers and general population. *Chemosphere.* mars 2007;67(3):489-97.

166. Lu S, Yang D, Ge X, Li L, Zhao Y, Li C, et al. The internal exposure of phthalate metabolites and bisphenols in waste incineration plant workers and the associated health risks. *Environ Int.* déc 2020;145:106101.

167. Viegas S, Veiga L, Figueiredo P, Almeida A, Carolino E, Viegas C. Assessment of workers' exposure to aflatoxin B1 in a Portuguese waste industry. *Ann Occup Hyg.* mars

2015;59(2):173-81.

168. Wu X, Zhang D, Chen Y, Shen J, Li X, Zheng Q, et al. Organophosphate ester exposure among Chinese waste incinerator workers: Urinary levels, risk assessment and associations with oxidative stress. *Sci Total Environ*. 1 sept 2022;854:158808.

169. Oh E, Lee E, Im H, Kang HS, Jung WW, Won NH, et al. Evaluation of immuno- and reproductive toxicities and association between immunotoxicological and genotoxicological parameters in waste incineration workers. *Toxicology*. 15 mai 2005;210(1):65-80.

170. Scarlett JM, Babish JG, Blue JT, Voekler SE, Lisk DJ. Urinary mutagens in municipal refuse incinerator workers and water treatment workers. *J Toxicol Environ Health*. sept 1990;31(1):11-27.

171. Ma X, Babish J, Scarlett J, Gutenmann W, Lisk D. Mutagens in urine sampled repetitively from municipal refuse incinerator workers and water treatment workers. *J Toxicol Environ Health*. 1 janv 1993;37:483-94.

172. Yoshida J, Kumagai S, Tabuchi T, Kosaka H, Akasaka S, Kasai H, et al. Negative association between serum dioxin level and oxidative DNA damage markers in municipal waste incinerator workers. *Int Arch Occup Environ Health*. févr 2006;79(2):115-22.

173. Toide K, Yamazaki H, Nagashima R, Itoh K, Iwano S, Takahashi Y, et al. Aryl hydrocarbon hydroxylase represents CYP1B1, and not CYP1A1, in human freshly isolated white cells: trimodal distribution of Japanese population according to induction of CYP1B1 mRNA by environmental dioxins. *Cancer Epidemiol Biomark Prev Publ Am Assoc Cancer Res Cosponsored Am Soc Prev Oncol*. mars 2003;12(3):219-22.

174. Hu SW, Chen CC, Kuo CY, Lin WH, Lin P. Increased cytochrome P4501B1 gene expression in peripheral leukocytes of municipal waste incinerator workers. *Toxicol Lett*. 5 janv 2006;160(2):112-20.

175. Hu SW, Lin P, Chen CC. Association of cytochrome P450 1B1 gene expression in peripheral leukocytes with blood lipid levels in waste incinerator workers. *Ann Epidemiol*. oct 2008;18(10):784-91.

176. Kang MJ, Lee DY, Joo WA, Kim CW. Plasma Protein Level Changes in Waste Incineration Workers Exposed to 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin. *J Proteome Res*. 1 août 2005;4:1248-55.

177. Yoshida R, Ogawa Y, Mori I, Nakata A, Wang R, Ueno S, et al. Associations between oxidative stress levels and total duration of engagement in jobs with exposure to fly ash among workers at municipal solid waste incinerators. *Mutagenesis*. nov 2003;18(6):533-7.

178. Kim M, Oh S, Lee JH, Im H, Ryu Y, oh E, et al. Evaluation of biological monitoring markers using genomic and proteomic analysis for automobile emission inspectors and waste incinerating workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons or 2,3,7,8,-tetrachlorodibenzo-p-dioxins. *Exp Mol Med*. 1 oct 2004;36:396-410.

179. Liu HH, Shih TS, Chen IJ, Chen HL. Lipid peroxidation and oxidative status compared in workers at a bottom ash recovery plant and fly ash treatment plants. *J Occup Health*. 2008;50(6):492-7.

180. Chen HL, Chen IJ, Chia TP. Occupational exposure and DNA strand breakage of workers in bottom ash recovery and fly ash treatment plants. *J Hazard Mater*. 15 févr 2010;174(1-3):23-7.

181. ANSES. Valeurs biologiques d'exposition en milieu professionnel. Le plomb et ses composés inorganiques. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. 2019.

182. Oleko A, Fillol C, Balicco A, Bidondo M, Gane J, Saoudi A, et al. Imprégnation de la population française par le plomb. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Santé Publique France; 2020 mars p. 53. (Études et enquêtes).
183. Oleko A, Fillol C, Saoudi A, Zeghnoun A, Bidondo M, Gane J, et al. Imprégnation de la population française par le cadmium. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Santé Publique France; 2021 p. 43. (Études et enquêtes).
184. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Updates Tables Biomonitoring [Internet]. 2017. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/exposurereport/>
185. Lafontaine M, Champmartin C, Simon P, Delsaut P, Funck-Brentano C. 3-Hydroxybenzo[a]pyrene in the urine of smokers and non-smokers. Toxicol Lett. 10 avr 2006;162(2-3):181-5.
186. Bierkens J, Smolders R, Van Holderbeke M, Cornelis C. Predicting blood lead levels from current and past environmental data in Europe. Sci Total Environ. 1 nov 2011;409(23):5101-10.
187. Falq G, Zeghnoun A, Pascal M, Vernay M, Le Strat Y, Garnier R, et al. Blood lead levels in the adult population living in France the French Nutrition and Health Survey (ENNS 2006-2007). Environ Int. avr 2011;37(3):565-71.
188. Altrex Biométrie [Internet]. [cité 30 avr 2023]. Disponible sur: <https://altrex-biometrie.inrs.fr/AltrexBiometrie/Accueil>
189. INRS. ALTREX CHIMIE - Méthode et guide utilisateur -V1 – 19 mars 2020. 2020.
190. ANSES. Les particules de l'air ambiant extérieur - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. 2023.
191. Nalbone G. Les particules fines et ultrafines atmosphériques et leurs impacts sur la santé : l'incinération en question. 2007.
192. Jones A, Harrison R. Emission of ultrafine particles from the incineration of municipal solid waste: A review. Atmos Environ. 1 juin 2016;140.
193. Frery N, Blanchard M, Garnier R, Cochet A, Maitre A. Santé Post Incendie 76. Pertinence d'une étude de biosurveillance à la suite de l'incendie survenu à Rouen le 26 septembre 2019. Saint Maurice: Santé Publique France; 2021 juill p. 100.
194. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Knutsen HK, Alexander J, Barregård L, Bignami M, Brüschweiler B, et al. Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA J. nov 2018;16(11).
195. INRS. MiXie France - Publications et outils [Internet]. [cité 9 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie/calculateur.html>
196. INRS. Guide d'utilisation de MiXie France. p. 03/2018. (Note scientifique et technique). Report No.: NS 358.
197. INRS. Endotoxines en milieu de travail - Fiche Agents Biologique - ED 4412. 2018.
198. Article 22 - LOI n° 2021-1018 du 2 août 2021 pour renforcer la prévention en santé au travail.
199. ANSES. Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Évaluation des indicateurs biologiques d'exposition et recommandation de valeurs biologiques pour le Chrome VI et ses composés. 2017. Report No.: 2007-SA-0430.
200. Falcy M, Bonnafé A. Quels examens paracliniques réaliser dans le cadre du suivi de

- salariés travaillant dans une usine d'incinération d'ordures ménagères? - QR56. Doc Pour Médecin Trav [Internet]. 3eme trimestre 2011;(127). Disponible sur: <http://www.rst-sante-travail.fr/rst/dms/dmt/ArticleDMT/QuestionsReponses/TI-RST-QR-56/qr56.pdf>.
201. Société Française de Médecine du Travail (SFMT). Recommandations de bonne pratique: surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes chimiques : application aux cancérogènes pour la vessie. 2012.
202. Latini Keller V, Junod Perron N, Graf JD, Stoermann Chopard C. Analyse d'urines : l'ABC du praticien. Rev Med Suisse. 23 sept 2009;218(34):1870-5.
203. La bandelette urinaire, une uroscopie moderne? [Internet]. 2012 [cité 30 avr 2023]. Disponible sur: <https://perruchenaautomne.eu/wordpress/?p=1259>
204. RECORD. Utilisation des tests de génotoxicité pour la surveillance de l'exposition des travailleurs dans l'industrie du traitement et recyclage des déchets. 2009.
205. ANSES. Avis et rapport de l'ANSES relatif à l'évaluation des risques sanitaires pour les professionnels du secteur de la gestion et de la valorisation des déchets en France. 2019. Report No.: 2016-SA-0137.
206. Société Française de Médecine du Travail (SFMT). Recommandations de bonne pratique : surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires. 2015.
207. Haute Autorité de Santé (HAS), Société Française de Médecine du Travail (SFMT). Surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à la silice cristalline. 2021 janv.
208. Delva F, Laurent F, Paris C, Belacel M, Brochard P, Bylicki O, et al. LUCSO-1-French pilot study of Lung Cancer Screening with low-dose computed tomography in a smokers population exposed to Occupational lung carcinogens: study protocol. BMJ Open. mars 2019;9(3):e025026.
209. Muniz Reyes Z. Évaluation risque chimique dans une installation de traitement de déchets. Arch Mal Prof Environ [Internet]. 1 mai 2018 [cité 17 mars 2022];79(3). Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1775878518304181>
210. HAS. Suivi post-professionnel des personnes exposées à l'amiante – Mise à jour du protocole et de la grille de lecture d'imagerie. 2019.
211. Pairon JC, Gehanno JF. Recommandations sur le suivi médical des expositions à effet différé : état des lieux [Internet]. Disponible sur: <https://societefrancaisedesanteautravail.fr/>
212. Classification du CIRC par localisations cancéreuses • Cancer Environnement [Internet]. Cancer Environnement. [cité 7 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/publications-du-circ/classification-du-circ-par-localisations-cancereuses/>
213. Luberto F. Studio di mortalità degli addetti alla conduzione e manutenzione degli inceneritori di rifiuti solidi urbani in Emilia-Romagna (Étude de mortalité des employés gérant et entretenant des incinérateurs de déchets solides municipaux en Émilie-Romagne).
214. Ministère de l'écologie et du développement durable. Les incinérateurs d'ordures ménagères : Quels risques? Quelles politiques? 2004.
215. RECORD. Pratiques de suivi médical des salariés des filières déchets. Etat des lieux et avis d'experts. 2012;(n°10-0672/1A).

216. Amadeo B, Marchand J. Analyse de la mortalité des sapeurs-pompiers professionnels actifs au 1er janvier 1979. 2012 p. Jean-Luc.
217. E. Bourgard, R. Colin, M. Grzebyk, I. Clerc-Urmès. Étude de la mortalité des égoutiers de la ville de Paris. Arch Mal Prof Environ. sept 2015;4670(4):327.
218. Hsieh YK, Chen WS, Zhu J, Wu YJ, Huang Q. Health Risk Assessment and Correlation Analysis on PCDD/Fs in the Fly Ash from a Municipal Solid Waste Incineration Plant. Aerosol Air Qual Res. 2018;18(3):734-48.

DÉCLARATION SUR L'HONNEUR



Faculté de médecine
maïeutique et sciences de la santé
Université de Strasbourg

Document avec signature originale devant être joint :

- à votre mémoire de D.E.S.
- à votre dossier de demande de soutenance de thèse

Nom : DUQUE MEL Prénom : Benoit

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université

J'atteste sur l'honneur

Ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvres déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

A écrire à la main : « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration

Signature originale : Benoit Duque Mel

À Strasbourg, le 25/05/2023

Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.

Résumé

Introduction : L'incinération est une des principales filières de prises en charge des déchets ménagers en France. Elle permet une réduction du volume de déchets et une valorisation énergétique. De multiples substances sont présentes au sein des déchets, ou sont émises lors du processus d'incinération. Une exposition des salariés à certaines substances est possible, en fonction des situations rencontrées.

Objectifs: L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les expositions chimiques recensées de certains salariés d'une usine d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) afin d'en déduire le risque pour leur santé. Les objectifs secondaires consistent en une réévaluation du protocole de suivi des salariés par la médecin du travail et une évaluation de la pertinence de la mise en place d'un suivi post professionnel pour les salariés exposés.

Matériel et méthode: Une revue de littérature a permis de sélectionner 105 publications, qui ont été regroupées suivant les trois critères suivant: 1) Études de morbidité et de mortalité des salariés d'UIOM; 2) Études présentant les résultats de mesures atmosphériques effectuées dans des UIOM; 3) Études détaillant la réalisation chez les salariés d'UIOM de biométries et de bilans biologiques. Les résultats de biométries de 31 salariés ont également été étudiés (plombémie, cadmiurie, 1-OHP urinaire).

Résultats: Les substances suivantes peuvent être présente à des niveaux atmosphériques significatifs au sein des UIOM: poussières inhalables et alvéolaires, chrome hexavalent, aérosols de calcium, plomb, fer. Des niveaux d'exposition intermédiaire peuvent être rencontrés pour d'autres substances, suivant les tâches réalisées. Des niveaux d'exposition plus important au cadmium et aux dioxines ont pu être rencontrés avant les années 2000. Les niveaux des biométries des salariés d'UIOM semblent être en général proches des niveaux de la population générale. Ils ont pu être plus élevés par le passé pour certaines substances (dioxines, plomb). Certaines altérations biologiques sont retrouvées sur quelques études (système immunitaire, métabolisme cellulaire, stress oxydatif, atteintes génotoxiques). Une atteinte des fonctions respiratoires est possible. Au sein de l'UIOM étudiée, les niveaux de plombémie, de cadmiurie et de 1-OHP urinaire des salariés des équipes de maintenance et d'exploitation sont proches des niveaux de la population générale. Une diminution des niveaux de plombémie peut être observée au cours du temps.

Conclusion: Les niveaux d'exposition pour chaque substance prise individuellement sont souvent faibles. Le risque lié à la polyexposition à de multiples substances est cependant à prendre en compte, même s'il est plus compliqué à évaluer. La mise en place d'études épidémiologiques serait intéressante pour le suivi de cette population sur le long terme. La réduction des niveaux d'exposition par des mesures de prévention collectives et individuelles doit être priorisée.

Rubrique de classement: Médecine du Travail

Mots-clés: Incinération, UIOM, ordures, déchets, REFIOM, mâchefer, plomb, cadmium, HAP, chrome hexavalent, plombémie, cadmiurie, 1-hydroxypyrene, polyexposition

Président : Pr Maria GONZALEZ

Assesseurs : Pr Christian BONAH, Pr Erik-André SAULEAU

Adresse de l'auteur : 13 allée des Comtes 67 200 Strasbourg