



**HAL**  
open science

# Les maçons fumistes : exposition aux hydrocarbures aromatiques dans différents secteurs de la métallurgie et risques sanitaires

Sabine Ratajski

## ► To cite this version:

Sabine Ratajski. Les maçons fumistes : exposition aux hydrocarbures aromatiques dans différents secteurs de la métallurgie et risques sanitaires. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03384102

**HAL Id: dumas-03384102**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03384102v1>**

Submitted on 18 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)

Année : 2021

LES MAÇONS FUMISTES : EXPOSITION AUX HYDROCARBURES  
AROMATIQUES DANS DIFFÉRENTS SECTEURS DE LA  
MÉTALLURGIE ET RISQUES SANITAIRES

THÈSE  
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ : MÉDECINE ET SANTÉ AU TRAVAIL

Par Mme Sabine RATAJSKI

[Données à caractère personnel]

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE  
GRENOBLE

Le 11/10/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury :

M. le Prof. Vincent BONNETERRE

Membres :

Mme le Prof. Anne MAITRE (directrice de thèse)

M. le Dr. Renaud PERSOONS

*L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*

Doyen de la Faculté : Pr. Patrice MORAND

Année 2020-2021

**ENSEIGNANTS DE L'UFR DE MEDECINE**

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-P11	ALDALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU PH	A <sup>U</sup> TEL Florent	Ophthalmologie
PLI-PH	ARVIFLIX-BARTHFI FMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-P11	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BIDA <sup>R</sup> T COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PR Ass. Méd.	BOILLOT Bernard	
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	BONNE IENNE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-P11	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAI Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christlan	Pneumologie
PU-P11 émérite	DRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PLI-PH	BRICAUT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
PU-P11	CESDRON Jean-Yves	Immunologie
PU PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHAERE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFAINJON Philippe	Anatomie
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON OIMer	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PII-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Ass. Méd.	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEO Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DFRANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIEHLERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
MCU-PH	DUMESTRE-PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FEUERSTEIN Claude	Physiologie
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PII-PH	GARRAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
MCU-PH	GUJIN Rita	Nutrition
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale

CORPS	NOM-PRÉNOM	Discipline universitaire
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LADLANCIE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
MCU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie - virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH	LE GOUELLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LIPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MAIGNAN Maxime	Médecine d'urgence
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MALLARD Marie-Reine	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; Hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUITT François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
PR Ass. Méd.	ORMEZANO Olivier	Cardiologie
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	PASSAGGIA Jean-Guy	Anatomie
PR Ass. MG	PAUMIER-DUBRIFRÈS Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation

CORPS	NOM-PRFNOM	Discipline universitaire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	FOIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PII	POLACK Benoît	Hématologie , Transfusion
PU PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
PU-PH	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PII-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	RECHE Fabian	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-lyngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PII-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SAKAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétiq
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-lyngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PII	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive réanimation
PII-PH	THEVENON Julien	Génétiq
MCU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANU Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PII-PH	ZACCHI Philippe	Néphrologie
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers  
 MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers  
 PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale  
 MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale  
 PR Ass. Méd. : Professeur des Universités Associé de Médecine  
 PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale  
 MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale

# Le serment d'Hippocrate

Texte revu par l'Ordre des médecins en 2012

“ Au moment d'être admis(e) 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(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) 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(e) et méprisé(e) si j'y manque.

”

## Remerciements

Au Professeur **Anne Maitre**, qui a accepté d'encadrer cette thèse. Merci pour tout le travail et l'accompagnement durant tous ces mois de thèse ainsi que durant tous les mois précédents ou nous avons beaucoup partagé avec les référents de spécialités. Merci de m'avoir initié à la toxicologie qui me semble aujourd'hui un monde beaucoup plus accessible

Au Professeur **Vincent Bonneterre**, qui m'a si bien accueilli en stage et qui a accepté d'être le président de mon jury. Merci pour les enseignements lors des consultations de pathologie professionnelle, merci de toujours vouloir transmettre tes connaissances

Au **Dr Renaud Persoons**, merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury, merci de ta patience en stage face à mes questions et correction de courrier, ce furent 3 mois très enrichissants

A **Franck Balduci**, merci de m'avoir accueilli pour de nombreux après-midi de statistique, je dois bien avouer avoir été un peu perdu au début mais tu as toujours pris le temps de m'expliquer

A **Sylvette Liaudy**, capable de trouver les articles les plus difficiles à trouver

A **Sylvie Picat** notre secrétaire incroyable sur tous les fronts, toujours là quand on a besoin

A toute l'équipe du laboratoire de toxicologie professionnelle et environnementale du CHU de Grenoble. Merci pour votre accueil

Au service de santé au travail du CHU de Grenoble, merci pour cet accueil et cette bonne humeur

A tous les médecins qui m'ont encadré durant mes stages et avec lesquels je garde encore contact pour la plupart. Merci de votre bienveillance et de votre soutien. Je vous dis à bientôt pour un prochain restaurant.

A tous mes co-internes, pour votre soutien pendant toutes ces années, à ces apéros (pas assez nombreux) passés ensemble. Nous avons grandi ensemble, mariage et bébé pour certains

A tous mes amis, je ne peux pas tous vous citer, certains sont partis, mais beaucoup ont gardé le contact (Éric, Poussin, Sybille, Emilie, Céline et d'autres...) mais certains sont restés, Rose, Lise... Lise comment ne pas te citer après tout ton soutien pendant cette rédaction et depuis toutes ces années.

A Côme, merci de me supporter au quotidien, je sais que ce n'est pas simple. A tout ce qui nous attend de beau, le futur est en route <3

A mes parents pour le soutien inconditionnel tout au long de ces années. Des petits plats préparés en P1 au soutien le jour de ma thèse. Merci !!!

## Abréviations

1-OHP : 1-hydroxypyrene

3-OHBaP : 3-hydroxybenz(a)pyrene

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

AT : accident du travail

BaP : Benzo(a)pyrene

BTP : bâtiment et travaux publics

CCPP : centre de consultation de pathologie professionnelle

CIRC : centre international de recherche sur le cancer

CMR : cancérogène, mutagène, reprotoxique

CPP : consultation de pathologie professionnelle

DSDP : début de semaine, début de poste

EPI : équipement de protection individuel

EU-OSHA (European Agency for Safety and Health at Work/ l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail)

FCR : fibres céramiques réfractaires

FORSAPRE : Le Portail Formation Santé Prévention

FSDP : fin de semaine, début de poste

FSFP : fin de semaine, fin de poste

FSFP16 :fin de semaine, fin de poste +16 heures

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

HPLC : chromatographie en phase liquide à haute performance

IBE : indicateur biologique d'exposition

INRS : Institut national de recherche et de sécurité

PRT : Pathologie en relation avec le travail

RNV3P : Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnelles

SUMER : surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels

SBEP : surveillance biologique des expositions professionnelles

TMS : troubles musculosquelettiques

US-EPA : United States Environmental Protection Agency

VBI : valeur biologique d'interprétation

VLEP : valeur limite d'exposition professionnelle

# Table des matières

Introduction générale	14
I. Maçon fumiste : description, secteurs d'activité et risques	15
A. Description générale	16
B. Activités du maçon fumiste	17
1. Phase de démolition	17
2. Phase de construction ou reconstruction	18
3. Exposition aux températures élevées	19
4. Matériaux utilisés	19
C. Secteurs d'activité lors de la production de métaux	22
1. Production d'aluminium	22
a) Electrolyse de l'alumine, le procédé Hall-Héroult	22
b) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production d'aluminium	25
(1) Le secteur carbone	26
(2) Le secteur électrolyse	26
(3) Le secteur produit fini	27
2. Production de silicium	27
a) De la silice au silicium	27
b) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production de silicium	28
3. Production d'acier	29
a) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production	30
D. Risques et nuisances identifiées	30
1. Risque CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique)	30
a) Les HAP	30
(1) Métabolisme	31
(2) Toxicité	32
b) Autres agents CMR	35
(1) L'amiante	35
(2) Les Fibres céramiques réfractaires (FCR)	35
(3) La silice cristalline	36
(4) Les rayonnements non ionisants	36

2. Autres risques	36
a) Exposition aux poussières silicogènes	36
b) Exposition au bruit	37
c) Exposition à la chaleur	37
d) Exposition aux vibrations	38
e) Manutention de charge et mouvements répétitifs	38
II. Exposition professionnelle aux HAP chez les maçons fumistes en métallurgie par les dosages urinaires du 1-OHP et du 3-OHBaP extraits de la base Exporisq 40	
A. Introduction	41
B. Matériel et méthode	44
C. Résultats	46
1. Population	46
2. Description et analyse des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP dans les différents secteurs	49
3. Comparaison par rapport aux valeurs biologiques d'interprétation (VBI)	53
4. Analyse de variance	56
D. Discussion	58
E. Conclusion :	62
III. Pathologies d'origine professionnelle chez les maçons fumistes enregistrées dans la base de données RNV3P	63
A. Introduction	64
B. Matériel et méthode	65
C. Résultat	66
1. Maladie de l'appareil respiratoire	71
2. Tumeur HAP induite	74
D. Discussion	75
E. Conclusion	78
Conclusion générale	79
Bibliographie	81

## Table des figures

Figure 1 : exemple de composition de béton réfractaire .....	20
Figure 2 : four à anodes précuites .....	24
Figure 3 : usine de production d'aluminium.....	25
Figure 4: schéma d'un four de production de silicium .....	28
Figure 5 Niveaux de 1-OHP ( $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ ) par secteur et moment de prélèvement.....	50
Figure 6:Niveaux de 3-OHBaP ( $\text{nmol.mol}^{-1}$ ) par secteur et moment de prélèvement	52
Figure 7: déclaration en MP conseillée par année à la suite d'une CPP.....	71
Figure 8 : Répartition des PRT (maladie de l'appareil respiratoire) par pathologie principale .....	72
Figure 9 : répartition (%) des déclarations de MP conseillées pour les maladies de l'appareil respiratoire.....	73
Figure 10: répartition des pathologies parmi les PRT en 2018 [Rapport d'activité RNV3P].....	76

## Table des tableaux

Tableau 1: groupe des HAP cancérrogènes (classification du CIRC).....	33
Tableau 2: classification par le CIRC des activités et produits potentiellement exposant aux HAP .....	34
Tableau 3 : caractéristique de la population .....	48
Tableau 4 : concentration urinaire en 1-OHP ( $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ ) et 3-OHBaP ( $\text{nmol.mol}^{-1}$ )	49
Tableau 5 : pourcentage des prélèvements dont les niveaux dépassent la valeur observée en population générale .....	55
Tableau 6 : Analyse de variance des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP à tous les moments dans les différents secteurs en fonction du tabac et du port du masque....	57
Tableau 7 : Répartition par secteurs des PRT, issues de l'extraction RNV3P .....	67
Tableau 8 : Répartition des PRT par profession .....	68
Tableau 9 : répartition des PRT par codage CIM-10 .....	69
Tableau 10 : Maladie professionnelle conseillé après consultation en CCPP.....	70

# Introduction générale

De nos jours, la maçonnerie est présente dans de nombreux secteurs d'activités. Les risques professionnels (toxicologiques, traumatiques...) sont multiples et fonction de ces différents secteurs. Dans ce travail de thèse, nous nous intéresserons spécifiquement au risque chimique en lien avec l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) des maçons fumistes. Peu de donnée existant sur cette profession, il nous a semblé intéressant de réaliser ce travail afin de le présenter aux journées scientifiques du BTP lors du congrès de 2023 dont la thématique centrale est la surveillance biologique des expositions professionnelles.

Dans une première partie, nous allons définir ce qu'est un maçon fumiste, dans quels secteurs d'activités il opère, quels matériaux il utilise afin d'identifier les principaux risques sanitaires auxquels il peut être soumis.

Dans la deuxième partie, nous analyserons les niveaux d'exposition aux HAP des maçons fumistes mesurés dans la production d'aluminium, de silicium et d'acier, à partir de la base de données Exporisq HAP.

Enfin, la troisième partie sera centrée sur les différentes pathologies professionnelles des maçons fumistes enregistrées dans la base de données RNV3P (Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnelles).

# **I. Maçon fumiste : description, secteurs d'activité et risques**

## **A. Description générale**

La définition classique de la maçonnerie est l'art de réaliser des ouvrages composés de matériaux (pierres de taille, moellons, briques...) unis par un liant (mortier, plâtre, ciment...). Le maçon est l'ouvrier, c'est-à-dire le travailleur manuel qui réalise une construction en maçonnerie. (1)

Le domaine de la maçonnerie n'a pas échappé à la surspécialisation des métiers avec des maçons qui seront formés dans un champ d'application spécifique de leur formation initiale, avec des activités spécifiques, et parfois dans certains secteurs d'activités précis. On retrouve par exemple le maçon du gros œuvre, le maçon finisseur, le maçon du second œuvre etc. Dans ce chapitre nous allons nous concentrer uniquement sur un domaine en particulier que sont les maçons fumistes. (2) (3) (4)

Le maçon fumiste intervient sur des ouvrages soumis à de très hautes températures (cokerie, four, incinérateur, conduit de cheminée industrielle, haut fourneau...), où il réalise l'approvisionnement, la mise en œuvre, la démolition ainsi que la réparation des revêtements réfractaires et isolants.

Il peut intervenir dans des habitations privées pour la construction de socles de chaudières, pour réaliser le calorifugeage des canalisations, c'est-à-dire les isoler par un revêtement qui empêche la déperdition de chaleur, pour la pose de revêtements en faïence, céramique et carreaux réfractaires.

On le retrouve toutefois principalement dans des secteurs industriels tels que la sidérurgie, la métallurgie, la verrerie, la cimenterie etc. (5) (6) Dans ce travail nous

allons nous intéresser exclusivement aux maçons fumistes exerçant dans les secteurs industriels de la métallurgie.

## **B. Activités du maçon fumiste**

Dans le secteur industriel, le maçon fumiste intervient sur des ouvrages contenant des matériaux réfractaires et isolants soumis à de très fortes températures. Il intervient classiquement lors de la construction, de la maintenance ou d'entretiens annuels. Dans ce dernier cas, il réalise la démolition et la reconstruction des ouvrages (four industriel, cuve d'électrolyse, poche de fonderie...).

### **1. Phase de démolition**

Préalablement à la démolition elle-même, une phase de grattage et de nettoyage des parois peut être réalisée manuellement à l'aide de raclettes, afin de retirer les résidus de combustion présents qui sont ensuite balayés et évacués. Une exposition aux composés contenus dans les résidus, notamment des HAP, peut avoir lieu.

Par la suite, le revêtement réfractaire est démoli au marteau piqueur, au burineur ou à la masse. Puis les gravats sont transportés et évacués, manuellement ou à l'aide d'une petite pelle mécanique. Un empoussièrement important est retrouvé durant cette étape. En plus des résidus de combustion, une exposition aux matériaux réfractaires détruits et aux liants (pouvant contenir des HAP) est possible durant cette phase. (5)

## 2. Phase de construction ou reconstruction

La phase de construction ou de reconstruction comporte plusieurs activités possibles :

- Le coulage du béton réfractaire : après dépôt des sacs de béton dans un malaxeur électrique et ajout d'eau, le béton frais est vidangé puis coulé.
- Le garnissage et montage de matériaux réfractaires entre eux : briquetage ou pose de blocs cathodiques. Cette étape consiste à disposer des briques ou des dalles réfractaires dans la cuve d'électrolyse, le four ou la poche de coulée
- Le brasquage : scellement des matériaux réfractaires entre eux à l'aide d'un liant qui est le plus souvent une pâte à brasque (c'est-à-dire un mélange de brai et de coke qui est mis en place chaud et damé). Dans le secteur de la production d'aluminium, la réfection des cuves d'électrolyse (tous les 7 ans) comprend un brasquage au niveau de la cathode avec application de pâte à brasque entre les blocs cathodiques du sol de la cuve (brasquage petit joint) et garnissage des espaces situés entre les parois latérales du caisson et les blocs cathodiques de la cuve (brasquage grand joint)
- Le damage : après remplissage des joints, la pâte de brasque est damée à l'aide d'un marteau pneumatique.
- Le gunitage : afin d'assurer une couche d'étanchéité supplémentaire, le maçon peut appliquer sur la paroi de la cuve un béton spécial par projection manuelle ou automatique à l'aide d'une lance.

Pendant la phase de construction ou de reconstruction, les maçons fumistes pouvaient être exposés aux HAP contenus dans les liants et dans la pâte à brasque pendant le brasquage et le damage mais cette exposition a diminué voir disparue aux cours de ces 20 dernières années. En effet, les pâtes qui contenaient du coke et s'appliquaient

à des températures de plus de 150°C n'en contiennent plus aujourd'hui et s'appliquent à froid.

### **3. Exposition aux températures élevées**

Lors des grands entretiens, les entreprises doivent mettre à l'arrêt les fours et/ou les cuves d'électrolyse afin que les maçons fumistes puissent réaliser leurs travaux dans une ambiance thermique normale. Ils sont alors exposés comme pendant la démolition aux résidus de combustion, aux composés contenus dans les matériaux réfractaires et les liants mais les niveaux sont plus élevés car ces opérations se passent parfois en milieu fermé (intérieur des fours). De plus, il n'est pas rare qu'ils travaillent sur des fours non totalement refroidis dans un souci de rentabilité, afin de ne pas stopper la production durant une période trop importante ou lorsqu'une intervention transitoire sur le four à cuire est nécessaire. Durant ces périodes de travail sur four chaud, le maçon fumiste est plus fortement exposé aux résidus de combustion des produits brûlés dans le four, provoquant de multiples expositions possibles, notamment une exposition aux HAP dégagés au niveau du four.

Les températures qui peuvent être retrouvées seront détaillées dans la partie C (secteurs d'activité lors de la production de métaux).

### **4. Matériaux utilisés**

Afin d'exercer son activité, le maçon fumiste utilise des matériaux spécifiques, nous allons ici en détailler la composition.

**Les revêtements réfractaires** sont des revêtements qui résistent à certaines influences physiques ou chimiques (action chimique, corrosion, etc.). Se dit également d'un acier ou d'un alliage résistant à haute température, soit à la corrosion de divers milieux, soit aux sollicitations mécaniques (7). Un matériau réfractaire typique est composé d'agrégats, d'une matrice entourant ces agrégats ainsi que d'additifs.

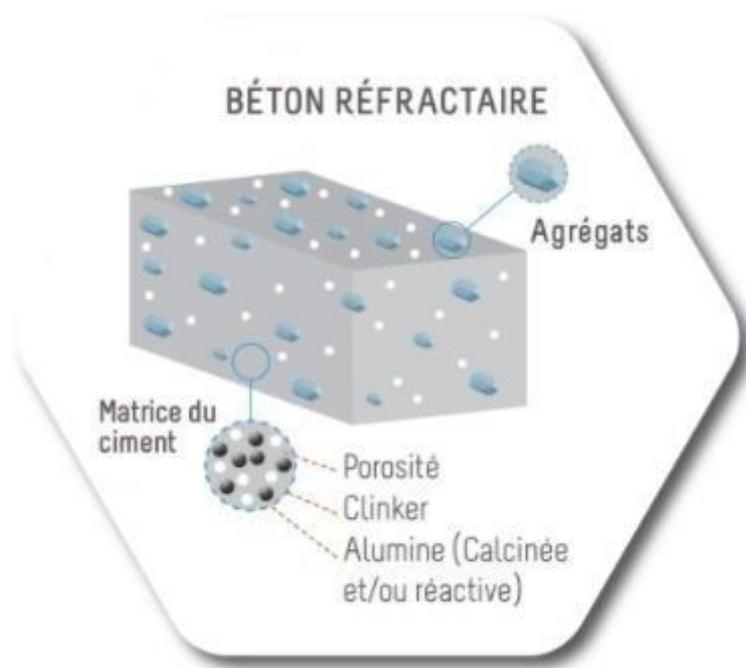


Figure 1 : exemple de composition de béton réfractaire (source ALTEO) (8)

Les agrégats forment le squelette du composant réfractaire et apportent la grande partie de la résistance aux hautes températures et la résistance à la corrosion et à l'érosion. La matrice est composée de matériaux fins et ultrafins (alumine, ciment réfractaire, micro-silice...) et joue le rôle de liant. Elle va aussi apporter au matériau des propriétés spécifiques, notamment en exacerbant certaines propriétés des agrégats. Le matériau réfractaire peut se retrouver sous différentes formes : briques, bétons coulés, bétons projetés...(8)

Les briques, blocs et dalles de béton réfractaire sont les éléments principaux de tous travaux de rénovation effectués par le maçon fumiste. Les différentes fiches de données sécurités étudiées retrouvent des compositions avec majoritairement de la silice, de la magnésie et parfois de l'alumine.

**Les fibres céramiques réfractaires** sont des matériaux isolants fibreux, composées de fibres de silicate d'aluminium. D'un aspect blanc cotonneux, elles sont appréciées pour leurs caractéristiques thermiques, avec une résistance aux températures élevées, allant jusqu'à 1450°C. De par leurs propriétés intéressantes, on les retrouve principalement dans le milieu industriel pour l'isolation thermique, de fours industriels, des hauts fourneaux, de tuyauteries de câbles, de moules de fonderie et dans la fabrication de joints (9) (10).

**Les liants**, source importante d'exposition aux HAP, sont composés d'huile de créosote, de brai de houille ou de dérivés du pétrole ou d'huiles carbochimiques. Ces liants sont utilisés comme joints entre les éléments réfractaires, ils peuvent être utilisés seuls, notamment dans le secteur de la production de silicium, ou en association avec des agrégats d'antracite calciné, de graphite ou de coke formant ainsi la pâte à brasque. Habituellement, la pâte de brasque est composée de 10 à 15% de liant et de 80 à 85% d'agrégat. Ces liants générant une forte exposition aux HAP, les industriels ont travaillé à la création de nouveaux liants moins polluants. On retrouve ainsi actuellement des liants de résine de furane, des liants de résine de phénol-2-formaldéhyde<sup>3</sup> ou encore des liants de brai de goudron chimiquement modifié, pour diminuer les HAP les plus dangereux. (13) Depuis plusieurs années, de nouvelles

pâtes de brasque contenant moins d'HAP apparaissent sur le marché, appelées « eco-friendly » ou « bas HAP ». On peut également retrouver des pâtes « 100% propres » qui ne contiennent pas d'HAP. La société Carbone Savoie a été la première entreprise à commercialiser une pâte « 100% propre ». En 2015 une étude comparant différents types de pâtes (classique, eco-friendly et 100% propre) dans une entreprise de production d'aluminium, rapporte des performances similaires des différentes pâtes, malgré quelques variations de leur propriétés physico-chimiques (densité plus élevée de la pâte classique, légère différence de perte de poids après cuisson en fonction des pâtes...) (11)(12)

## **C. Secteurs d'activité lors de la production de métaux**

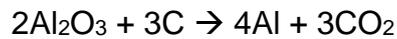
Le maçon fumiste intervient dans les secteurs industriels où des ouvrages sont soumis à de très hautes températures. Dans notre région, ces secteurs sont essentiellement la production d'aluminium, de silicium et les aciéries.

### **1. Production d'aluminium**

#### **a) Electrolyse de l'alumine, le procédé Hall-Héroult**

L'électrolyse de l'aluminium est réalisée dans une grande cuve, traversée par un courant électrique continu de haute intensité, dont le fond est recouvert par une cathode (électrode négative). L'alumine dissoute est mélangée à de la cryolithe afin d'abaisser son point de fusion à 1 000°C. Des anodes (électrodes positives) composées d'éléments carbonés, le coke et le brai de houille, plongent dans le bain afin de permettre la réaction. Sous l'effet du courant électrique, les ions d'aluminium

(Al<sup>3+</sup>) sont attirés vers la cathode et l'oxygène (O<sup>2-</sup>) est attiré vers l'anode, qui va relarguer son carbone afin de former du CO<sub>2</sub>. (14)



L'aluminium liquide se dépose alors au niveau de la cathode. L'aluminium est ensuite récupéré de manière régulière par siphonage au niveau de bec de coulée, qui les coule sous forme de plaques, blocs ou en lingots. (15) (16)

Il existe deux types de procédés d'électrolyse en fonction du type d'anode. En France de 1952 à 1982, l'anode, constituée de pâte à base de coke et de brai de houille, était cuite in situ dans le caisson de la cuve d'électrolyse par le passage du courant électrique à travers les goujons (Procédé Söderberg) [3]. Du fait du dégagement important d'HAP par évaporation du brai de houille, ce procédé a été totalement abandonné en France et remplacé par l'utilisation d'anodes précuites. (15)(17)

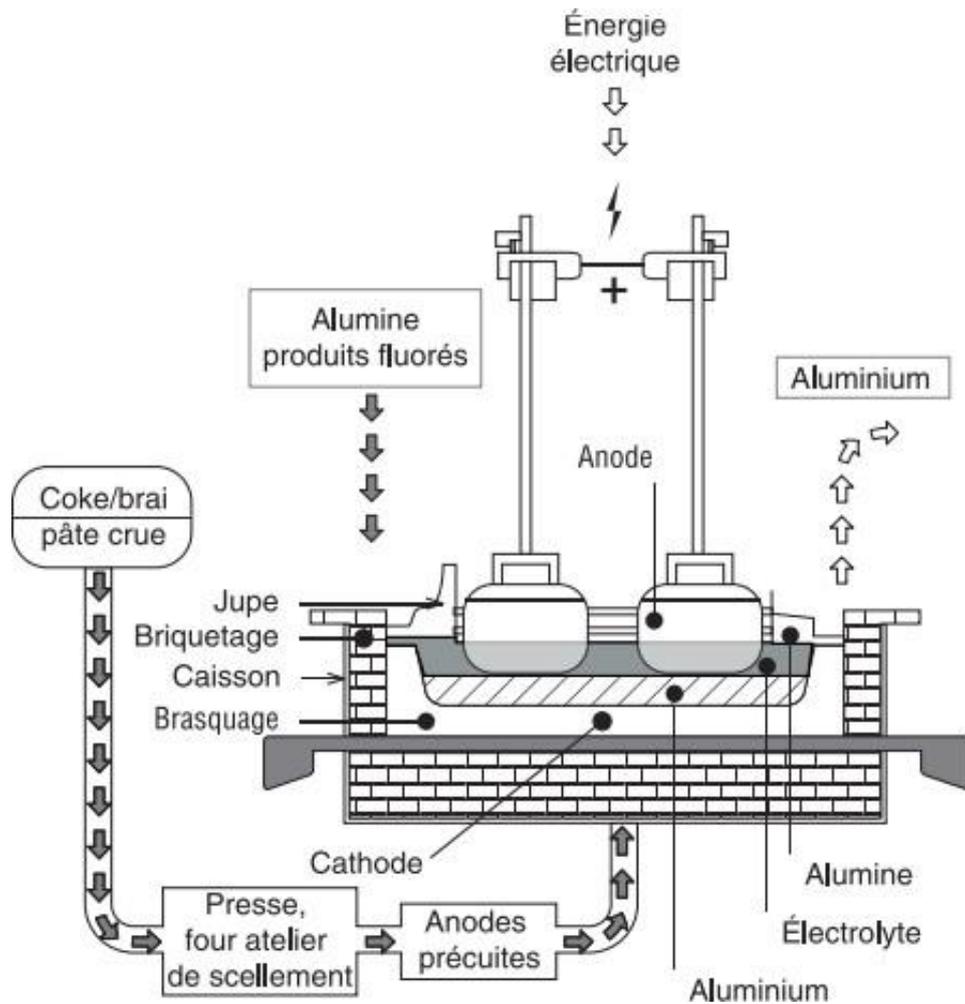


Figure 2: four à anodes précuites (15)

Ces anodes, composées de coke de pétrole et de brai (en proportion plus faible que dans les électrodes Söderberg), sont plongées dans la cuve. Chaque cuve comporte un nombre variable d'anodes, qui doivent être remplacées après usure, soit environ toutes les 3 semaines. Dans ce procédé, les électrodes ne continuent pas de cuire pendant l'électrolyse ce qui ne provoque donc pas d'émission d'HAP. (15)(17)

b) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production d'aluminium

Dans une usine de production d'aluminium, nous retrouvons plusieurs classes de métiers différents. Afin de comprendre où intervient le maçon fumiste, nous allons donner une description rapide de l'usine.

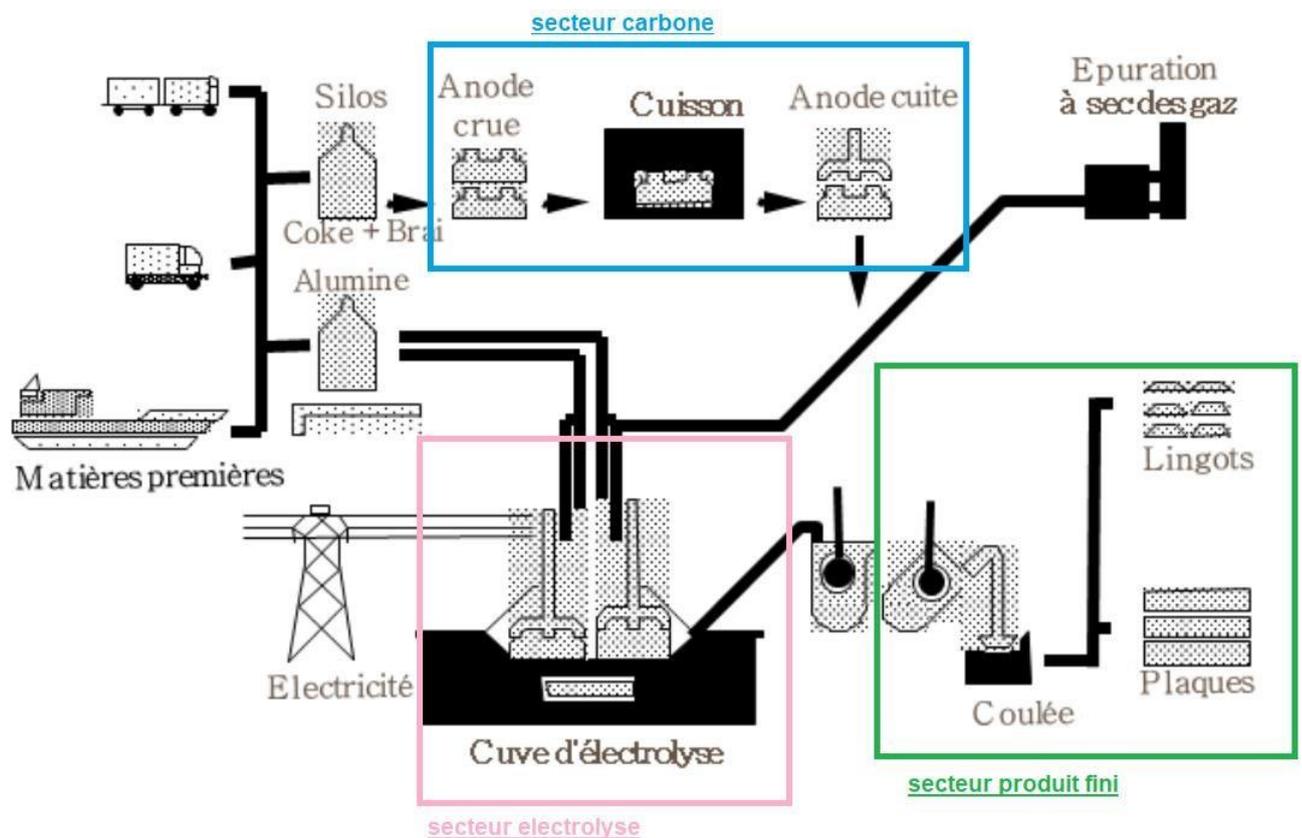


Figure 3: usine de production d'aluminium

(Source : BOGET A. Surveillance biologique des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la production d'aluminium et d'électrodes. Thèse de médecine. Université de Grenoble Alpes ; 2018)

Dans une usine, nous retrouvons 3 secteurs principaux :

(1) Le secteur carbone

Du fait de la consommation rapide (3 semaines) des anodes avec le procédé à anodes précuites, les entreprises de production d'aluminium produisent directement dans leurs locaux les anodes dont elles ont besoin au niveau du secteur carbone.

Après production d'anodes crues dans l'atelier « tour à pâte », celles-ci sont cuites pendant 21 jours à une température de 1100°C au niveau de l'atelier « four à cuire ». Le maçon fumiste de l'entreprise réalise la destruction et la reconstruction des alvéoles de chacun des fours. Il est alors exposé à de multiples résidus de combustion, notamment aux HAP.

(2) Le secteur électrolyse

Dans le secteur électrolyse, les maçons fumistes interviennent uniquement lors de la démolition et de la réfection des cuves d'électrolyse pendant d'un arrêt complet de la cuve ce qui est fait tous les 6 ans. Il s'agit la plupart du temps de travail sous-traité à des entreprises extérieures à l'usine de production d'aluminium. Lors de la démolition, l'exposition aux HAP pouvaient se rencontrer pendant le grattage des résidus de combustion et la destruction de la cathode, composée de blocs de graphite préculs liés entre eux par une pâte à brasque contenant potentiellement des HAP.

Pendant la reconstruction de la cuve, c'est l'opération de brasquage qui était la phase la plus exposante aux HAP (fonction de la teneur en HAP de la pâte de brasque et de sa température d'application).

### (3) Le secteur produit fini

Une fois l'aluminium liquide collé à la cathode, celui-ci est siphonné de manière régulière à l'aide de bec de coulée, pour être ensuite refroidi et solidifié dans une lingotière. Le maçon fumiste intervient uniquement lors de la réfection du bec de coulée. Il peut utiliser des pâtes carbonées afin d'assurer l'étanchéité du bec et celles-ci peuvent contenir des HAP. L'exposition dans ce secteur reste toutefois très faible.

## 2. Production de silicium

### a) De la silice au silicium

Le silicium est obtenu par carboréduction de la silice contenue dans le quartz, selon la réaction suivante :  $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$

Pour ce faire, la matière première en quartz est disposée dans un four à arc électrique chauffé à 1700-1800°C, accompagné de réducteur (bois, charbon, houille, coke). Le tout allant dans la cuve du four, cuve dans laquelle 3 électrodes sont plongées, afin d'apporter la puissance électrique nécessaire à la réaction pour finalement aboutir, dans le fond du four, à du silicium sous forme liquide à une température de près de 2000°C. Le silicium ainsi produit est siphonné par ouverture du bec de coulée et sera refroidi en lingotière, donnant ainsi le silicium, produit fini. (18)(19)

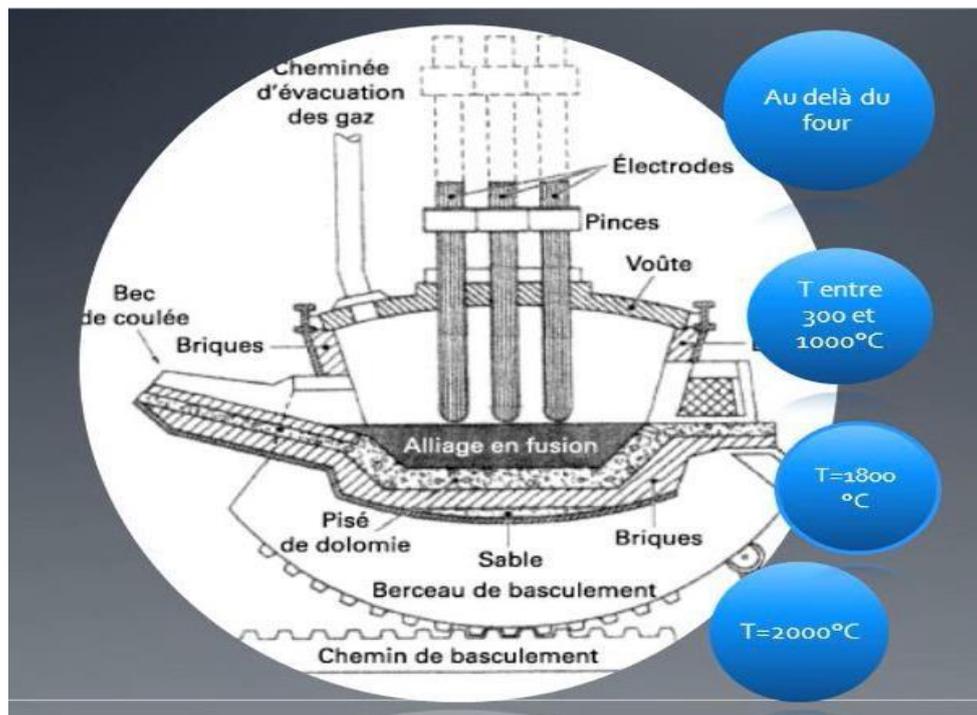


Figure 4: schéma d'un four de production de silicium  
 (Source : <https://slideplayer.fr/slide/1140779/?hcb=1>, consultée le 16/12/2020)

Le type d'électrodes utilisées dépend du produit final réalisé. Alors que pour la production de silico-alliages, des électrodes Söderberg sont utilisées, des électrodes composites sont utilisées pour la production de silicium. Ces électrodes composites sont composées d'un noyau de graphite, entouré de pâte de brai sous la forme de boulet, le tout maintenu par une virole métallique. Le brai, initialement solide, se liquéfie avec l'augmentation des températures quand l'électrode descend dans le four et va cuire, provoquant l'émission d'HAP. (18)(19)

b) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production de silicium

Les HAP retrouvés proviennent principalement des boulets (contenant du brai de houille) que l'on retrouve au niveau des électrodes. On peut également en retrouver dans les résidus calcinés de coke, de graphite.

Les maçons fumistes effectuent la réfection du bec de coulée. Des entreprises de maçon fumistes sous-traitant interviennent lors du grand entretien quand les fours sont arrêtés pendant le cassage du four mais aussi le damage de la pâte de brasque appliquée sur le fond ou la sole du four.

### **3. Production d'acier**

L'acier est un alliage métallique composé principalement de fer et de carbone. Une aciérie est une usine servant à produire de l'acier en grandes quantités. On distingue deux types d'aciérie : les aciéries qui produisent de l'acier à partir de ferrailles recyclées et les aciéries qui produisent de l'acier à partir de la fonte liquide produite par les hauts fourneaux. Les matières premières sont acheminées au niveau du four de fusion. La fusion est obtenue par un arc électrique (pour le procédé avec ferraille recyclé) entre trois électrodes de graphite auxquelles s'ajoutent des injections de carbone, d'oxygène et de gaz naturel. Le cycle de fusion normal est en moyenne de 40 minutes à une température de 1600°C. Arrive ensuite l'étape de la métallurgie en poche, étape fondamentale de l'élaboration des aciers. On y affine le traitement de l'acier (désulfuration, mise à température...) après coulée du métal liquide dans la poche et avant envoi de celui-ci à la coulée continue. Les poches sont ensuite transportées par des ponts roulants ou des wagons, au niveau de la coulée continue où l'acier liquide contenu dans la poche est coulé. La coulée continue a supplanté la coulée classique en lingot, en raison d'un gain de matière et de productivité (20)(21)(22).

a) Exposition aux HAP chez les maçons fumistes dans le secteur de la production

L'exposition aux HAP des maçons fumistes au niveau des fours d'aciérie intervient principalement lors de la réfection des becs de coulées ou durant la réfection des poches de coulée. Les poches de coulée sont composées de matériaux réfractaires, liés entre eux par des liants pouvant contenir des HAP. Une nouvelle fois, ces activités de réfection sont principalement réalisées par des entreprises sous-traitantes.

## **D. Risques et nuisances identifiées**

Les maçons fumistes sont exposés à de multiples risques dans le cadre de leur travail, certains en lien avec les contraintes mécaniques, certains en lien avec leur environnement de travail, et certains en lien avec les outils et matériaux utilisés dans le cadre de leur activité professionnelle.

### **1. Risque CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique)**

Les maçons fumistes sont potentiellement exposés à de nombreux CMR en fonction de leur activité, nous allons tenter de les détailler.

a) Les HAP

Les HAP forment une grande famille de plusieurs centaines de composés organiques constituée de carbone et d'hydrogène, avec au moins deux cycles aromatiques. On les retrouve à l'état gazeux ou particulaire en fonction du nombre de cycles

aromatiques qui les composent. Deux HAP contenant quatre cycles sont eux retrouvés à la fois à l'état gazeux et particulaire, il s'agit du pyrène et du fluoranthène.

Ils sont ubiquitaires de l'environnement et proviennent généralement de la combustion incomplète de matière organique ou de leur pyrolyse (23)(24)(25)

L'exposition aux HAP des maçons fumistes provient des suies et résidus de combustion mais aussi des composés contenus dans les anodes, les cathodes et des pâtes de brasque :

- Le brai de houille est un composé issu de la distillation de la houille (roche noire composée de 80 à 90% de carbone) qui contient de 5 à 20% d'HAP. (26)
- Le coke de pétrole est un composé issu de la distillation du pétrole. Il contient beaucoup moins d'HAP que les distillats de la houille et se compose très majoritairement de carbone (88%) (27)

## (1) Métabolisme

En fonction de leur volatilité, les HAP peuvent être absorbés par voie respiratoire. L'absorption peut également se faire par voie cutanée par contamination directe ou indirecte. Les HAP sont lipophiles et passent bien la barrière cutanée. Une absorption par voie digestive est également possible, principalement lors du portage de main souillée à la bouche. L'importance de l'absorption dépend de la granulométrie, de la solubilité et de l'absorption des HAP sur les particules aéroportée (24) (25)

Une fois absorbés, les HAP se distribuent dans tous les organes et tissus. Ils sont ensuite métabolisés afin de subir une activation métabolique pouvant aboutir à la formation d'adduit à l'ADN. Ces adduits peuvent provoquer des mutations. Si ces

mutations ont lieu sur certains gènes particuliers (P53), elles peuvent favoriser la formation de tumeur (28).

L'élimination des HAP dépend de la voie d'absorption et de leur poids moléculaire. Après ingestion et pour les hauts poids moléculaires, les HAP sont principalement éliminés dans les fèces. Une autre voie d'élimination importante est l'urine, sous forme de métabolites conjugués. La demi-vie d'élimination est variable en fonction des HAP. (25)

## (2) Toxicité

Le principal risque en lien avec une exposition aux HAP chez l'homme est le risque néoplasique. En effet l'exposition aux HAP entraîne un excès de risque certain de cancers cutanés, broncho-pulmonaires et vésicaux. Le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le BaP (Benzo(a)pyrène) comme cancérogène certain pour l'homme (groupe 1). Il s'agit du seul HAP appartenant au groupe 1. D'autres sont classés comme cancérogènes probables (groupe 2A) ou possible (groupe 2B). Le CIRC s'est également prononcé sur le caractère cancérogène de certaines activités ou de certains produits. Ainsi par exemple, la fumée de tabac ou le secteur de la production d'aluminium ainsi que les fonderies de fer et d'acier sont classés cancérogènes certains (24)(25)(29)(30)(31)

Tableau 1: groupe des HAP cancérogènes (classification du CIRC)

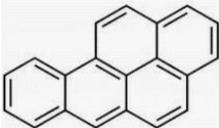
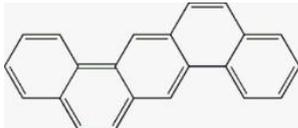
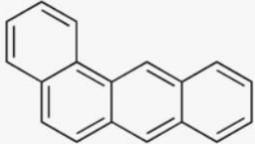
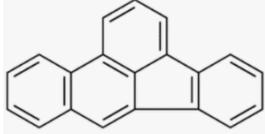
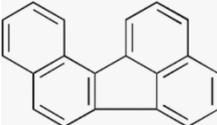
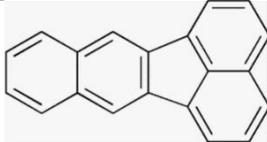
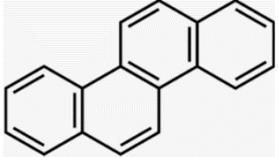
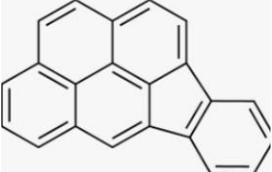
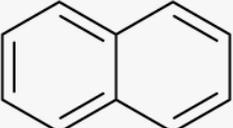
HAP	N° cas	Structure chimique	Catégorie selon le CIRC
Benzo(a)pyrène BaP	50-32-8		1
Dibenzo(ah)anthracène	53-70-3		2A
Benzo(a)anthracène	56-55-3		2B
Benzo(e)pyrène	192-97-2		2B
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2		2B
Benzo(j)fluoranthène	205-82-3		2B
Benzo(k)fluoranthène	207-08-9		2B
Chrysène	218-01-9		2B
Indéno(1,2,3,cd)pyrène	193-39-5		2B
Naphtalène	91-20-3		2B

Tableau 2: classification par le CIRC des activités et produits potentiellement exposant aux HAP

Produits/ activités	Catégorie selon le CIRC
Goudron et brai de houille	1
Suies	1
Fumée de tabac	1
Huiles minérales	1
Fonderie de fer et d'acier	1
Gazéification du charbon	1
Cokerie et production d'aluminium	1
Huile de schiste	1
Emission diesel	1
Créosote	2A
Fabrication d'électrode	2A
Raffinage du pétrole	2A
Extrait de noir de charbon	2B
Emission d'essence	2B

## b) Autres agents CMR

### (1) L'amiante

Les fibres d'amiantes peuvent être présentes dans d'anciens éléments d'étanchéité ou dans les calorifugeages, on peut également les retrouver sous forme de cartons amiantés entre des briques réfractaires et l'enveloppe métallique d'un four. L'amiante est une fibre minérale naturelle présentant des propriétés physico-chimiques ayant entraîné son utilisation importante : incombustibilité, résistance mécanique, stabilité thermique, inertie chimique par rapport à la plupart des produits chimiques et faible conductivité électrique. A ce jour, la fabrication, la transformation, l'importation, la mise sur le marché et la cession, à quelque titre que ce soit, de tout produit contenant de l'amiante sont interdites en France depuis le 1 janvier 1997. L'amiante est classé cancérigène certain pour l'homme par le CIRC, pour le cancer du poumon, le mésothéliome pleural et péritonéal, le cancer du larynx et de l'ovaire. Il existe à ce jour un niveau de preuve insuffisant concernant le cancer du pharynx, de l'estomac et le cancer colorectal. (32)(33)

### (2) Les Fibres céramiques réfractaires (FCR)

Contenues dans les éléments d'étanchéité ou dans le calorifugeage. Chez l'animal, ces FCR entraînent un excès de risque de cancer (principalement mésothéliome et cancer bronchopulmonaire). Chez l'homme elles sont classées catégorie 1B (cancérogène supposé) par l'UE. (34)(9)

### (3) La silice cristalline

Présente dans les éléments constitutifs des parois composées de briques réfractaires. Dans son rapport de 2019, l'ANSES revient sur les dangers d'exposition à la silice cristalline qui sont nombreux (silicose, sclérodermie etc) et rappelle que depuis 1997 la silice cristalline est classé groupe 1 par le CIRC pour les cancers pulmonaires, ce qui a été confirmé en 2012 (35)(36).

### (4) Les rayonnements non ionisants

Les chantiers réalisés par les maçons fumistes peuvent, pour certains ou pour une partie du chantier être réalisés en extérieur. Entraînant de ce fait une exposition aux rayonnements solaires. Ces rayonnements, au-delà d'un certain seuil, sont néfastes pour la santé, d'autant plus que l'exposition est chronique. Ils peuvent provoquer un vieillissement cutané prématuré ainsi que des cancers cutanés. Depuis 1992, l'exposition au soleil est classé cancérigène chez l'homme par le CIRC et en juillet 2009 le CIRC à classé cancérigène avéré pour l'homme les UVA et UVB (37).

## **2. Autres risques**

### a) Exposition aux poussières silicogènes

Les poussière silicogènes peuvent être retrouvées en grande quantité lors du travail ou de la démolition de ciment durci contenant de la silice. Une étude a comparé la fonction respiratoire de 48 maçons fumistes exposés aux poussières silicogènes contre 46 maçons fumistes non exposés. Après ajustement sur le tabac, elle retrouve une augmentation significative des symptômes respiratoires à type de toux, dyspnée d'effort, expectorations et bronchites récurrentes chez les

maçons exposés. La CVF (capacité vitale forcée) et le VEMS (volume expiratoire maximal 1 seconde) sont significativement plus bas chez les sujets exposés, baisse en lien avec la durée d'exposition. Seul le test de transfert du CO (monoxyde de carbone) ne diffère pas entre les deux groupes (38).

#### b) Exposition au bruit

Le Portail Formation Santé Prévention (FORSAPRE) spécialisé dans le BTP précise que tous les métiers du BTP, dont les maçons fumistes, sont fortement exposés aux contraintes sonores. L'utilisation de nombreuses machines (burineur, marteau piqueur) crée une ambiance sonore nécessitant le port d'EPI adapté (casque anti bruit) (5). Pour une journée de travail de 8h, on considère que l'ouïe est en danger à partir de 80 décibels. Si le niveau de bruit venait à dépasser 80 décibels, l'exposition devrait alors être plus courte. On précise que toute exposition supérieure à 135 dB est considérée comme dangereuse. L'enquête SUMER (surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels) de 2010 rapporte que les expositions de longue durée (plus de 20 heures par semaine) à des niveaux élevés (plus de 85 dB) concernent 4,8 % des salariés. Les secteurs les plus concernés sont l'industrie (16,8%) et la construction (10,5%). (39)(40)

#### c) Exposition à la chaleur

Les maçons fumistes peuvent intervenir dans des ambiances thermiques extrêmes, à proximité de four à plusieurs centaines de degrés. Une des rares études sur les maçons fumistes, retrouvée dans les archives des maladies professionnelles,

s'intéresse aux maçons fumistes dans une ambiance thermique très contraignante. Elle rapporte des mesures chez 6 salariés intervenant dans le secteur de la verrerie, et travaillant à proximité de fours dont la température s'élève à 1600°C. Les salariés travaillent en deux phases successives, avec une phase de 10 minutes de travail sur four et une phase de récupération de 50 minutes. La température centrale du salarié augmente d'environ 1°C suite à l'exposition, et met environ 45min à revenir à sa température basale lors de sa première exposition. On constate qu'après 3 expositions au four chaud, le salarié ne revient plus à sa température initiale pendant la phase de récupération. Une mesure de la fréquence cardiaque a également été réalisée ; allant jusqu'à 88% de la fréquence maximale théorique (calcul : 220-âge), soit une astreinte cardiaque importante (41)

#### d) Exposition aux vibrations

L'exposition aux vibrations se fait principalement pendant l'utilisation d'objets vibrants (perceuse, marteau piqueur, ponceuse...) durant diverses activités telles que des travaux de démolition, d'application d'enduit etc. Ces vibrations sont transmises au membre supérieur et peuvent provoquer diverses pathologies telles que des affections ostéo-articulaires (arthrose du coude...) ou des atteintes vasculaires cubito-palmaire (syndrome du marteau hypothénar) pouvant donner lieu sous certaines conditions à une reconnaissance en maladie professionnelle (42) (43).

#### e) Manutention de charge et mouvements répétitifs

Le milieu de la maçonnerie est un métier demandant une exigence physique particulièrement importante. Les salariés sont très exposés à la manutention de

charges lourdes ainsi qu'aux mouvements répétitifs, qui sont de grands facteurs de risques de TMS (troubles musculosquelettiques). Les TMS sont des troubles de l'appareil locomoteur, entraînant des pathologies qui touchent les articulations, les muscles et les tendons (tendinopathie, épicondylite...) (44)

Dans le rapport annuel de l'assurance maladie sur l'année 2019, on constate que 50% des AT (accident du travail) avec au moins 4 jours d'arrêt sont attribuables à des accidents de manutention manuelle. Le secteur le plus touché par ces AT en proportion est le secteur du BTP, avec 3.5% des salariés du régime général travaillant dans le BTP qui déclarent un accident de manutention. En 2019 les TMS représentent la grande majorité des maladies professionnelles reconnues (45)

**II. Exposition professionnelle aux  
HAP chez les maçons fumistes en  
métallurgie par les dosages  
urinaires du 1-OHP et du  
3-OHBaP extraits de la base  
Exporisq**

## A. Introduction

La maçonnerie fumiste est un domaine d'hyper spécialisation de la maçonnerie. Les études réalisées chez ces sujets sont aujourd'hui très rares (38) (41), et les risques associés à leur activité mal décrits. La littérature est importante concernant les HAP, mais le risque d'exposition aux HAP chez les maçons fumistes n'est pas retrouvé dans la littérature, alors que, comme nous avons pu le voir dans les chapitres précédents, ils exercent régulièrement dans les secteurs pouvant entraîner de fortes expositions aux HAP.

L'Inserm estime que le risque du cancer du poumon lié à une exposition professionnelle aux HAP est 2 à 3 fois plus élevé que celui de l'exposition environnementale à ces substances durant la vie entière (Inserm, 2008). Nous rappelons que la production d'aluminium ainsi que la fonderie d'acier sont des secteurs classés cancérigènes certains par le CIRC pour l'exposition aux HAP (24).

D'après les données de l'enquête SUMER de 2010, on peut estimer qu'environ un million et demi de salariés seraient exposés aux HAP, dont 100 000 exposés au goudron de houille, bitume et brai de pétrole et 70 000 exposés aux fumées dégagées par les procédés de la métallurgie et électrométallurgie (fumées de fonderies de fer et d'acier, affinage de l'aluminium par électrolyse) (25)(40)

L'agence américain de la protection de l'environnement (US-EPA) a désigné en 1976, 16 HAP à suivre, car jugés prioritaires. Cette liste n'a pas évolué depuis sa création. Parmi eux, seul le Benzo(a)pyrène est classé cancérigène certain par le CIRC (24). On note que le Benzo(e)pyrène et le Benzo(j)fluoranthène, tous les deux classés cancérigènes possibles par le CIRC, ne sont pas dans la liste des HAP à suivre.

Afin de surveiller l'exposition aux HAP, la métrologie atmosphérique a rapidement été développée ; avec l'évolution des technologies modernes, nous pouvons aujourd'hui mesurer les HAP gazeux et particulaires grâce à la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC) couplé à un détecteur de fluorescence. La valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) aux HAP pour 8h d'exposition varie considérablement selon les pays. En France, la CNAM recommande un objectif provisoire de maintenir la teneur en BaP à une valeur inférieure à  $0.15\mu\text{g}/\text{m}^3$  (25).

Si la métrologie reste indispensable pour identifier les sources et les pics d'émission de polluants, elle est toutefois limitée en termes d'évaluation de risques individuels. En effet, elle ne peut tenir compte des variabilités inter-individuelles, de l'absorption cutanée et digestive des HAP et de l'efficacité des équipements de protection individuelle (EPI) portés par les maçons fumistes. C'est pour cette raison que la surveillance biologique des exposition (SBE) est importante à mettre en place quand elle est possible. Pendant des années, le dosage du 1-hydroxypyrene (1-OHP), métabolite du pyrène, était le seul dosage urinaire réalisé en routine car le pyrène est présent de manière importante dans les différents mélanges d'HAP et car une fraction non négligeable du 1-OHP est éliminé par le rein. (46)(47)(48)(49). Le 1-OHP possède une élimination urinaire triphasique avec des demi-vies de 5 h, 22 h et 17 jours. Il peut y avoir une accumulation au cours de la semaine de travail, avec un plateau atteint vers la 4<sup>ème</sup> semaine. Le maximum d'excrétion intervient plus précocement en cas d'exposition respiratoire, et de manière retardée en cas d'exposition cutanée, car il y a une phase de stockage dans le derme. Sur une semaine complète, il est conseillé de doser le 1-OHP en début de semaine début de poste (DSDP) qui sera la valeur seuil de départ et qui permet également de quantifier les éventuelles expositions non professionnelles. Un dosage en fin de semaine fin de poste (FSFP) est réalisé pour

évaluer l'accumulation sur une semaine de travail, et un dosage le lendemain matin (FSFP+16) peut être réalisé en cas d'absorption cutanée importante (47). Toutefois, le pyrène étant classé non cancérigène pour l'homme par le CIRC (catégorie 3), son biomarqueur est donc éloigné du risque sanitaire cancérigène. Il n'existe pas en France de valeur biologique d'interprétation professionnelle pour le 1-OHP. La valeur guide généralement retenue est celle de l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) qui retient une valeur maximale de  $1\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  de créatinine, qui est la dose en dessous de laquelle il n'y a pas d'excès de risque génotoxique observé (25).

Le dosage du 3-hydroxybenz(a)pyrène (3-OHBaP), métabolite urinaire du BaP, a été mis en place dans les années 2000 (50). Il a l'avantage d'être représentatif des HAP cancérigènes dans le modèle animal : lors d'expérimentations chez le rat, il a été démontré que le dosage du 3-OHBaP est bien corrélé au niveau d'adduit à l'ADN formé dans les poumons (23)(51). Il est en revanche présent en faible quantité dans les urines (de l'ordre du  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Sa cinétique d'élimination est retardée, c'est la raison pour laquelle le moment de dosage idéal, correspondant au pic d'excrétion, est le lendemain matin du dernier jour de travail de la semaine (FSFP+16). En France, l'INRS propose une valeur limite de  $0,4\text{ nmol}\cdot\text{mol}^{-1}$  de créatinine en FSFP+16 correspondant à une exposition au BaP de l'ordre de la VLEP ( $0,15\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (25) (52)

La base de données Exporisq a été créée par l'équipe hospitalo-universitaire de médecine et santé au travail de Grenoble Alpes afin d'étudier les niveaux d'exposition aux HAP dans de nombreux secteurs industriels. On peut y retrouver des informations concernant les données biologiques (IBE dont le 3-OHBaP et le 1-OHP) mais également des informations personnelles (statut tabagique, port d'EPI...) (53).

L'objectif de cette partie était d'évaluer les niveaux d'exposition aux HAP des maçons fumistes à l'aide des niveaux urinaires de 1-OHP et de 3-OHBaP enregistrés dans cette base afin d'identifier les activités les plus à risque, et comparer ces niveaux par rapport aux niveaux classiquement observés en population générale.

## **B. Matériel et méthode**

Les sujets inclus dans l'étude étaient des maçons fumistes ayant bénéficié d'une campagne de surveillance biologique des expositions professionnelles (SBEP) au sein de leur entreprise entre 2000 et 2021. Les sujets avaient au préalable donné leur consentement afin que les résultats de leurs prélèvements biologiques puissent être enregistrés dans la base de données Exporisq. Lors du recueil d'urine, les maçons avaient rempli un questionnaire précisant leur statut tabagique, leur poste de travail, l'activité réalisée dans la journée, la présence d'équipement de protection collective (EPC) et le port d'EPI (gants ou/et masques en précisant leurs types). Les masques étaient classés comme « anti G » pour les masques anti gaz, « anti P » pour anti particule et « anti G+P » pour anti gaz et particule. Les gants étaient soit des gants en nitrile, soit des gants de manutention. Tout autre type de protection cutanée était classée « autre ».

Les maçons fumistes ont été retrouvés dans 3 secteurs industriels : la production d'aluminium, la production de silicium et un secteur plus vaste comprenant la fonderie d'acier et la réparation de fours industriels que nous appellerons ici le secteur « métallurgie ».

Les prélèvements urinaires ont été recueillis après que les médecins du travail de chaque entreprise aient rédigé une ordonnance permettant la réalisation d'analyses urinaires. Les prélèvements ont été conservés au réfrigérateur avant d'être envoyés au laboratoire de Toxicologie Professionnelle et Environnementale du CHU Grenoble Alpes où les niveaux urinaires de 1-OHP et de 3-OHBaP ont été mesurés en chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec une détection par fluorescence (54). Les niveaux urinaires ont été mesurés à plusieurs moments. Pour le 1-OHP, les niveaux ont été mesurés le premier jour de la semaine de travail, DSDP (début de semaine, début de poste), en FSDP (fin de semaine, début de poste), en FSFP (fin de semaine, fin de poste) et en FSFP16 (fin de semaine, fin de poste +16 heures). Pour le 3-OHBaP les niveaux ont été mesurés en DSDP et en FSFP16.

Les niveaux ont systématiquement été rapportés à la concentration de créatinine de l'échantillon afin de tenir compte de la concentration ou de la dilution des urines. Les urines dont la créatinine était inférieure à  $0,3 \text{ g.L}^{-1}$  ou supérieure à  $3 \text{ g.L}^{-1}$  n'ont pas été incluses dans l'analyse statistique, comme le recommande l'ACGIH (ACGIH 2017).

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS®, une valeur était considérée comme significative quand  $p < 0,05$ . Des statistiques descriptives représentant la médiane, le minimum et maximum, ainsi qu'une représentation en boîte à moustache a été réalisée afin de représenter la distribution des concentrations urinaires dans les différents secteurs en fonction des moments de prélèvement.

Les analyses statistiques ont été réalisées à partir des logarithmes des concentrations afin de rendre la distribution gaussienne et de pouvoir réaliser des tests paramétriques. Des comparaisons de moyennes pour échantillons indépendants par test ANOVA ont été réalisées entre les différents secteurs à tous les moments de prélèvement.

L'homogénéité des variances a été vérifiée au préalable. Si le test ANOVA revenait significatif, un test post hoc de Bonferroni a alors été fait, afin de déterminer quels secteurs étaient concernés par la significativité.

Des comparaisons de moyenne pour échantillons appariés ont été réalisées par test T de Student (ou test non paramétrique quand le nombre de données était insuffisant) dans les différents secteurs entre les niveaux de 1-OHP de DSDP et de FSFP, entre les niveaux de 1-OHP de DSDP et FSDP (effet semaine), entre les niveaux de 1-OHP de FSDP et FSFP (effet jour), entre les niveaux de 1-OHP de FSFP et FSFP16 et enfin entre les niveaux de 3-OHBaP de DSDP et FSFP16. Cette analyse a également été réalisée en ajustant sur la variable tabac afin d'évaluer son effet.

Enfin, une analyse de variance des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP en fonction du statut tabagique et du port du masque a été réalisée afin d'observer si ces variables étaient significativement liées au niveau des biomarqueurs mesurés.

## **C. Résultats**

### **1. Population**

La population totale des trois secteurs étudiés était composée de 422 sujets, uniquement des hommes, âgés de 18 à 62 ans. La majorité des maçons sont retrouvés dans le groupe silicium comprenant 292 sujets, contre 77 dans le groupe aluminium et 53 dans le groupe métallurgie. Il n'y a pas statistiquement plus de fumeurs dans un secteur que dans un autre ( $p > 0,05$ ). On retrouve 52% de fumeurs dans le silicium, 63.6% dans l'aluminium et 60.4% dans la métallurgie. La description de la population est présentée dans le tableau 3.

A l'exception d'un sujet dans le secteur de l'aluminium, tous les maçons étaient équipés de gants. On retrouvait principalement des gants de manutention dans le secteur de l'aluminium et du silicium, respectivement 51.7 et 90.3% et des gants en nitrile dans le secteur de la métallurgie à hauteur de 76.3%. Le port du masque était statistiquement moins présent dans le secteur de la métallurgie que dans le secteur de l'aluminium et du silicium (Khi2 ;  $p < 0,01$ ). 13.2% des maçons déclaraient ne pas porter de masque dans la métallurgie, contre seulement 4.2% dans l'aluminium et 0% dans le silicium. Les masques étaient uniquement des masques anti P dans la métallurgie (100%), principalement des masques anti G+P dans le silicium (70,3%) et principalement anti P dans l'aluminium (64.2%).

L'activité réalisée par le maçon fumiste le jour du prélèvement n'était pas systématiquement renseignée. Dans le secteur du silicium, on retrouve principalement des activités de réparation d'alvéole au niveau du four à cuire, du brasquage grand ou petit joint et du damage. Pour le secteur de l'aluminium, les activités rapportées étaient la réfection de four, la réfection de bec de coulée et le damage de la sole ou du fond de cuve. Enfin, concernant le secteur métallurgie, les activités étaient principalement le briquetage au niveau de la poche de coulée ainsi que la réfection de four (phase de démolition uniquement ou phase de démolition et phase de reconstruction).

Tableau 3 : caractéristique de la population

	Aluminium	Silicium	Métallurgie	Total	
Nombre de sujet	77	292	53	422	
Age (année ; médiane [min-max])	44 [25 - 62]	42 [18 - 60]	37 [18 - 62]	42 [18 - 62]	
Année du premier et dernier prélèvement	2001-2014	2000-2019	2000-2021	/	
Homme (%)	100	100	100	100	
Femme (%)	0	0	0	0	
Fumeur (%)	63,6	52	60,4	55,6	
Non-fumeur (%)	36,4	48,8	39,6	44,4	
Port du masque NR (%)	31,2	20,2	17	21,8	
Non (%)	0	4,8	13,2	5	
Oui (%)	68,8	75	69,8	73,2	
Type de maque (%)	Anti G	0	1,4	0	1
	Anti P	64,2	28,3	100	43
	Anti G+P	35,8	70,3	0	56
Port de gant NR (%)	20,8	18,8	28,3	20,4	
Non (%)	1,3	0	0	0,2	
Oui (%)	77,9	81,2	71,7	79,4	
Type de gant (%)	Nitrile	11,6	3,8	76,3	13,5
	Manutention	51,7	90,3	21,1	75,5
	Autres	36,7	5,9	2,6	11

*min* : minimum  
*max* : maximum  
*NR* : non renseigné

## 2. Description et analyse des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP dans les différents secteurs

Un total de 1204 échantillons ont été collectés, mais 81 échantillons (6.5%) ont été exclus de l'analyse du fait de créatininuries extrêmes ( $> 3 \text{ g.L}^{-1}$  ou  $< 0,3 \text{ g.L}^{-1}$ ). On retrouve 862 analyses de 1-OHP et 261 de 3-OHBaP. Les moments de prélèvements concernant le 1-OHP se répartissent en 261 en DSDP, 102 en FSDP, 323 en FSFP et 176 en FSFP16. Concernant le 3-OHBaP, il y a 107 prélèvements en DSDP et 154 en FSFP16. Les niveaux médians des biomarqueurs, ainsi que leurs minimums et maximums sont représentés par secteur et par moment de prélèvement dans le tableau 4.

Tableau 4 : concentration urinaire en 1-OHP ( $\mu\text{mol.mol}^{-1}$ ) et 3-OHBaP ( $\text{nmol.mol}^{-1}$ )

N med (min max)	Aluminium	Silicium	Métallurgie	Total
1-OHP DSDP $\mu\text{mol.mol}^{-1}$	49 0,11 (0,02-1,19)	172 0,14 (0,00-1,54)	40 0,08 (0,01-0,043)	261
1-OHP FSDP $\mu\text{mol.mol}^{-1}$	41 0,50 (0,04-2,70)	41 0,15 (0,01-1,10)	20 0,09 (0,02-0,73)	102
1-OHP FSFP $\mu\text{mol.mol}^{-1}$	62 0,66 (0,03-4,38)	217 0,41 (0,00-3,15)	44 0,19(0,02-1,47)	323
1-OHP FSFP16 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$	63 0,53 (0,04-3,67)	106 0,30 (0,03-1,67)	7 0,24 (0,20-0,75)	176
3-OHBaP DSDP $\text{nmol.mol}^{-1}$	24 0,01 (0,00-0,28)	77 0,02 (0,00-0,68)	6 0,01 (0,00-0,25)	107
3-OHBaP FSFP16 $\text{nmol.mol}^{-1}$	44 0,12 (0,01-1,64)	103 0,09 (0,00-0,96)	7 0,03 (0,02-0,16)	154

*N = nombre d'échantillon une fois les urines avec créatinines extrêmes exclues  $<0,3\text{g.L}^{-1}$  ou  $>3\text{g.L}^{-1}$*

*med : médiane*

*min : minimum*

*max : maximum*

Une représentation graphique de la distribution des niveaux en fonction du moment de prélèvement est représentée dans les figures 5 et 6.

Figure 5 A Niveaux de 1-OHP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) dans le secteur de l'aluminium, par moment de prélèvement

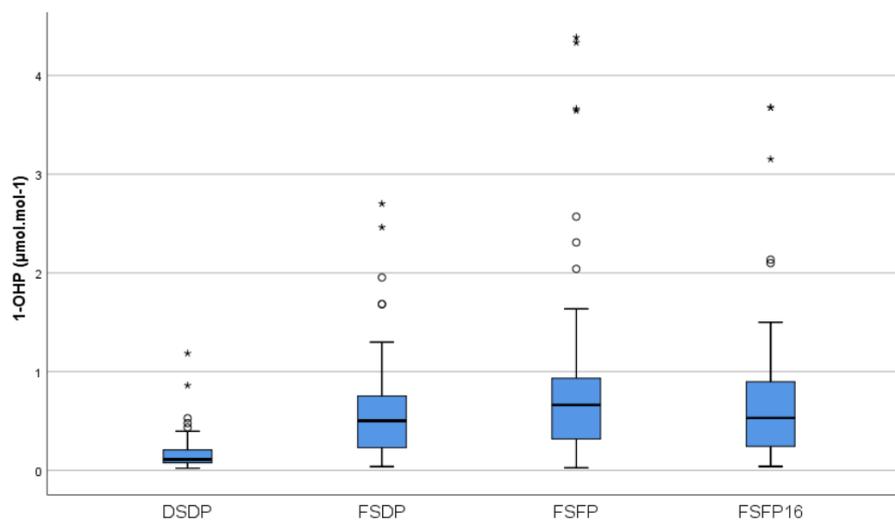


Figure 5B : Niveaux de 1-OHP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) dans le secteur du silicium, par moment de prélèvement

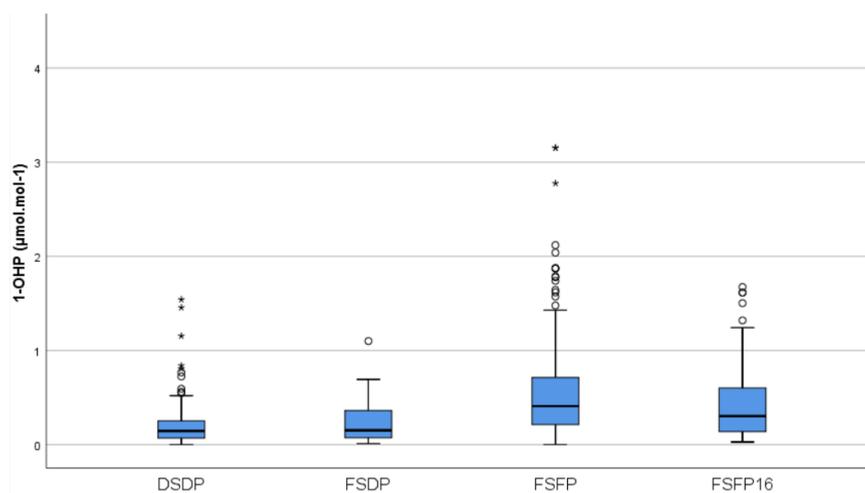
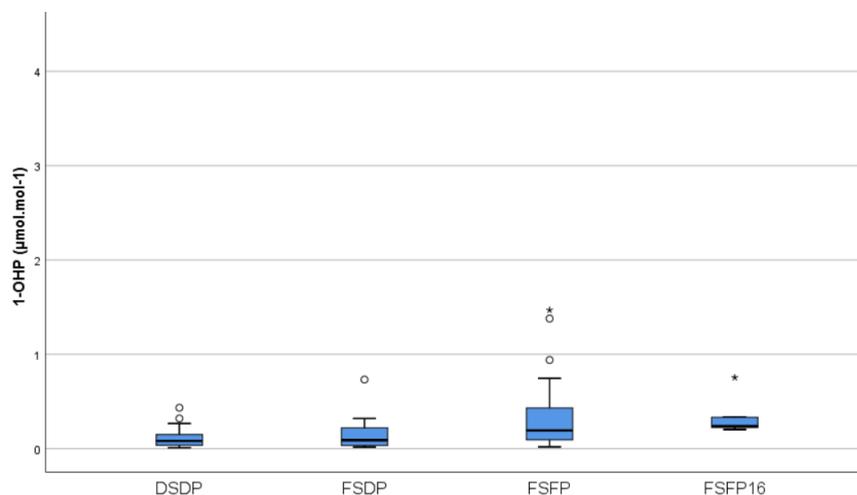


Figure 5C : Niveaux de 1-OHP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) dans le secteur de la métallurgie par moment de prélèvement



Concernant les niveaux de 1-OHP, les niveaux mesurés en DSDP dans le secteur métallurgie sont significativement plus bas que ceux du secteur silicium, avec une moyenne géométrique des niveaux respectivement de  $0.078 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $0.133 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  ( $p < 0,01$ ). Il n'y a en revanche pas de différence de niveau entre le secteur de l'aluminium et de la métallurgie, ni entre le secteur du silicium et l'aluminium ( $p > 0.05$ ). En FSDP les niveaux sont significativement plus élevés dans le secteur de l'aluminium ( $p < 0,01$ ) avec une médiane des niveaux plus de 3 fois supérieure à celle du secteur silicium et plus de 5 fois supérieure à celle du secteur métallurgie. En FSFP les niveaux sont statistiquement plus bas dans le secteur métallurgie et statistiquement plus élevé dans le secteur aluminium ( $p < 0.05$ ), la moyenne géométrique des niveaux est de  $0.182 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  dans la métallurgie, de  $0.380 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  dans le silicium et de  $0.566 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  dans l'aluminium. En FSFP16 les niveaux sont statistiquement plus élevés dans le secteur de l'aluminium que dans celui du silicium avec des moyennes géométriques de niveaux respectivement de  $0.479 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  et de  $0.274 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Les différences de concentrations entre les différents secteurs évoluent dans le même sens chez les fumeurs et les non-fumeurs quel que soit le moment de prélèvement.

Les concentrations en 1-OHP sont significativement plus élevées en FSDP qu'en DSDP ( $p < 0,01$ ) sauf pour le secteur de la métallurgie où les niveaux ne diffèrent pas ( $p > 0,05$ ). Les concentrations en 1-OHP sont également, tous secteurs confondus, significativement plus élevées en FSFP qu'en FSDP ( $p < 0,01$ ) avec la moyenne géométrique des niveaux globaux à  $0.205 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  en FSDP et  $0.366 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  en FSFP. La moyenne géométrique des niveaux de 1-OHP, tous secteurs confondus, est de  $0.119 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  en DSDP et de  $0.340 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  en FSFP ( $p < 0.01$ ). Il n'y a en

revanche pas de différence statistiquement significative entre les niveaux mesurés en FSFP et FSFP16 tous secteurs confondus.

Figure 6 A : Niveaux de 3-OHBaP (nmol.mol<sup>-1</sup>) dans le secteur de l'aluminium, par moment de prélèvement

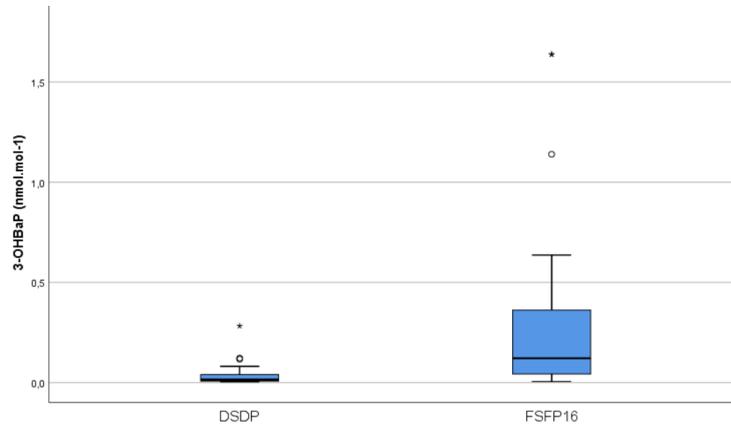


Figure 6B : Niveaux de 3-OHBaP (nmol.mol<sup>-1</sup>) dans le secteur du silicium, par moment de prélèvement

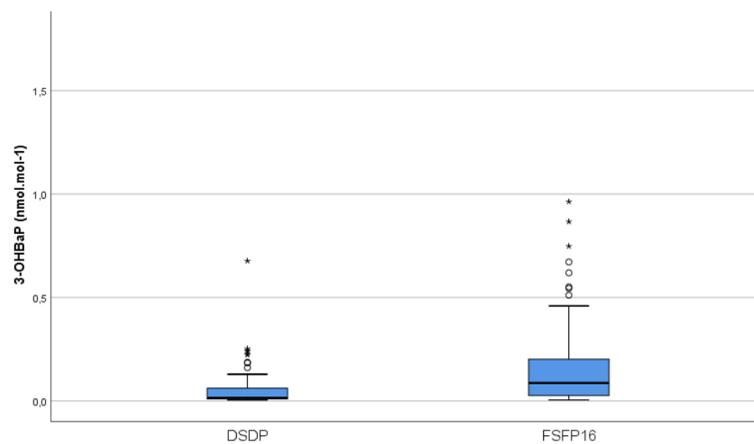
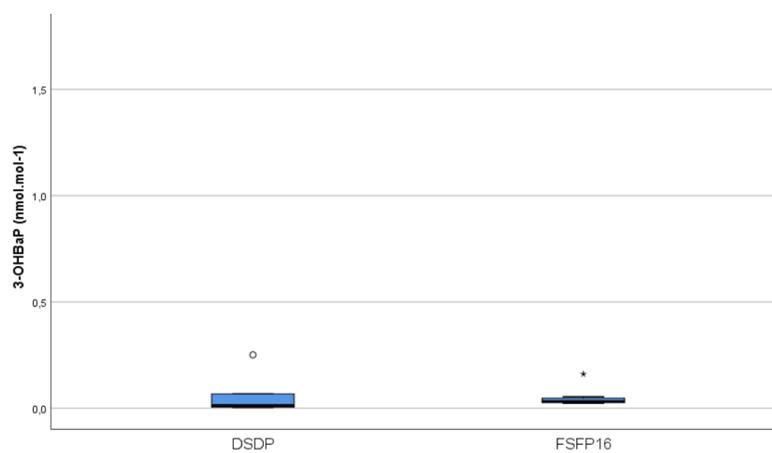


Figure 6C : Niveaux de 3-OHBaP (nmol.mol<sup>-1</sup>) dans le secteur de la métallurgie par moment de prélèvement



Les concentrations en 3-OHBaP mesurées en DSDP ne sont pas plus élevées dans un secteur par rapport à un autre ( $p > 0.05$ ). La moyenne géométrique des niveaux est de 0.0189 nmol.mol<sup>-1</sup> dans le secteur de l'aluminium, de 0.0248 nmol.mol<sup>-1</sup> dans le silicium et de 0.0182 nmol.mol<sup>-1</sup> dans la métallurgie. Il en va de même pour les concentrations mesurées en FSFP16 ( $p > 0.05$ ).

Les niveaux de 3-OHBaP mesurés en FSFP16 sont significativement plus élevés que ceux mesurés en DSDP ( $P < 0,01$ ) tous secteurs confondus, avec une moyenne géométrique respectivement de 0.0775 nmol.mol<sup>-1</sup> et 0.0243 nmol.mol<sup>-1</sup>.

### **3. Comparaison par rapport aux valeurs biologiques d'interprétation (VBI)**

Concernant les niveaux de 1-OHP, l'ACGIH recommande de ne pas dépasser la valeur seuil en milieu professionnel de 1 µmol.mol<sup>-1</sup> mesurée en FSFP (25)(55) . 54 des 323 prélèvements réalisés en FSFP dépassent cette valeur seuil, soit 16,7% des prélèvements. Parmi eux 38 sont retrouvés dans le secteur du silicium représentant 17,5% des prélèvements du secteur silicium en FSFP. 14 sont retrouvés dans le secteur aluminium (22.6%) et 2 dans le secteur métallurgie (4.5%). Sur les 38 prélèvements du secteur du silicium, 15 avaient renseigné leur activité : 12 étaient au poste de damage des soles pendant le grand entretien, 2 au poste de réfection de four et 1 au poste de réfection de bec. Concernant le secteur de la production d'aluminium, l'activité était renseignée uniquement pour 3 des 14 prélèvements. Ils étaient tous au poste de brasquage (2 petit joint et 1 grand joint). L'activité n'était pas connue pour les 2 prélèvements du secteur métallurgie. Plus de 75% des prélèvements dépassant cette valeur seuil ont été prélevés avant 2010 et le reste entre 2010 et 2014.

Le 3-OHBaP quant à lui ne possède pas de valeur limite biologique. L'INRS a proposé une valeur seuil en milieu professionnel de  $0.40 \text{ nmol.mol}^{-1}$  mesurée en FSFP16 compte tenu de la cinétique d'excrétion du 3-OHBaP. 22 des 154 prélèvements de 3-OHBaP réalisés en FSFP16 dépassent ce seuil de  $0.40 \text{ nmol.mol}^{-1}$ , soit 14.3% des prélèvements. 10 sont dans le secteur de l'aluminium (22.7%), 12 dans le secteur du silicium (11.7%) et aucun dans le secteur de la métallurgie. Sur les 10 prélèvements du secteur de l'aluminium, l'activité exercée par le maçon fumiste dans la journée était connue pour 4 sujets, encore une fois tous au poste de brasquage. Concernant les activités dans le secteur du silicium, elles étaient connues pour 9 des 12 prélèvements, tous au poste de damage de la sole. La moitié des prélèvements dépassant la valeur seuil ont eu lieu avant 2010 et le reste entre 2010 et 2016.

Pour les sujets en population générale, une étude américaine de la NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) retrouve des niveaux de 1-OHP ne dépassant pas  $0,1 \text{ } \mu\text{mol.mol}^{-1}$  chez les non-fumeurs et  $0,5 \text{ } \mu\text{mol.mol}^{-1}$  chez les fumeurs. En France, les niveaux sont légèrement plus bas ( $<0.3 \text{ } \mu\text{mol.mol}^{-1}$  chez les fumeurs. Une étude Espagnole de 2015 retrouve également des niveaux de l'ordre de  $0.3 \text{ } \mu\text{mol.mol}^{-1}$  chez les fumeurs. Toutes les entreprises étudiées dans cette thèse étant basées en France, la valeur seuil de  $0.3 \text{ } \mu\text{mol.mol}^{-1}$  a été choisie comme point de comparaison par rapport à nos valeurs(56)(57).

Concernant le 3-OHBaP, les niveaux retrouvés en population générale sont de  $0.02 \text{ nmol.mol}^{-1}$  chez les non-fumeurs et de  $0.07 \text{ nmol.mol}^{-1}$  chez les fumeurs (56).

Le secteur de la production d'aluminium est le secteur où les niveaux mesurés dépassent le plus souvent les niveaux observés en population générale ; et le secteur de la métallurgie, celui où les niveaux dépassent le moins les niveaux observés en

population générale. Le tableau 5 représente le pourcentage de prélèvements dépassant ces niveaux de population générale par secteur et à statut tabagique équivalent.

Tableau 5: pourcentage des prélèvements dont les niveaux dépassent la valeur observée en population générale.

		Aluminium	Silicium	Métallurgie	Tout secteur
1-OHP DSDP	NF (%)	42,1	42,5	23,5	39,4
	F (%)	26,7	33,8	8,7	27,3
1-OHP FSDP	NF (%)	71,4	47,4	0	48,7
	F (%)	70,4	38,9	14,3	47,5
1-OHP FSFP	NF (%)	83,3	83,5	46,7	79,2
	F (%)	92,1	77,1	44,8	75
1-OHP FSFP16	NF (%)	80	69	/	73,1
	F (%)	84,2	67,3	42,9	72,2
3-OHBaP DSDP	NF (%)	25	37,1	0	33,3
	F (%)	33,3	33,3	20	32
3-OHBaP FSFP16	NF (%)	85	61,4	/	68,7
	F (%)	79,2	58,3	14,3	60,8

NF (%) : pourcentage de non-fumeur dont la valeur dépasse les valeurs moyennes observées en population générale chez les NF (soit  $0,1\mu\text{mol.mol}^{-1}$  pour le 1-OHP et  $0.02\text{nmol.mol}^{-1}$  pour le 3-OHBaP)

F (%) : pourcentage de fumeur dont la valeur dépasse les valeurs moyennes observées en population générale chez les F (soit  $0,3\mu\text{mol.mol}^{-1}$  pour le 1-OHP et  $0.07\text{nmol.mol}^{-1}$  pour le 3-OHBaP)

#### **4. Analyse de variance**

Une analyse de variance des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP en fonction du tabac et du port du masque, par secteur et par moment de prélèvement est présentée dans le tableau 6. L'analyse n'a pas été faite en fonction du port du gant car seul un maçon déclarait ne pas porter de gant.

Les données sont notées « / » lorsque le test n'a pu être effectué par manque de données ou car tous les sujets portaient un masque.

Tableau 6: Analyse de variance des niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP à tous les moments dans les différents secteurs en fonction du tabac et du port du masque.

		Aluminium	Silicium	Métallurgie
1-OHP DSDP	Tabac	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,05
	Tabac oui	0,156 [30]*	0,200 [68]	0,099 [23]
	Tabac non	0,079 [19]	0,083 [73]	0,056 [17]
	Masque	/	NS	NS
	Masque oui	/	0,134 [124]	0,071 [31]
	Masque non	/	0,088 [5]	0,046 [3]
1-OHP FSDP	Tabac	p < 0,05	p < 0,01	p < 0,01
	Tabac oui	0,533 [27]	0,229 [18]	0,140 [14]
	Tabac non	0,268 [14]	0,084 [19]	0,029 [6]
	Masque	/	/	NS
	Masque oui	/	/	0,043 [10]
	Masque non	/	/	0,071 [3]
1-OHP FSFP	Tabac	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,05
	Tabac oui	0,768 [38]	0,544 [105]	0,245 [29]
	Tabac non	0,349 [24]	0,239 [91]	0,103 [15]
	Masque	/	NS	NS
	Masque oui	/	0,370 [179]	0,148 [32]
	Masque non	/	0,297 [7]	0,160 [5]
1-OHP FSFP16	Tabac	p < 0,01	p < 0,01	/
	Tabac oui	0,677 [38]	0,418 [52]	/
	Tabac non	0,282 [25]	0,165 [42]	/
	Masque	/	NS	/
	Masque oui	/	0,280 [99]	/
	Masque non	/	0,102 [1]	/
3-OHBaP DSDP	Tabac	p < 0,05	p < 0,05	NS
	Tabac oui	0,034 [12]	0,038 [33]	0,023 [5]
	Tabac non	0,011 [12]	0,019 [35]	0,005 [1]
	Masque	/	NS	/
	Masque oui	/	0,025 [71]	/
	Masque non	/	0,013 [1]	/
3-OHBaP FSFP16	Tabac	p < 0,05	p < 0,01	/
	Tabac oui	0,171 [24]	0,093 [48]	/
	Tabac non	0,067 [20]	0,044 [44]	/
	Masque	/	NS	/
	Masque oui	/	0,074 [97]	/
	Masque non	/	0,016 [1]	/

\*moyenne géométrique [effectif]. Moyenne géométrique en  $\mu\text{mol.mol}^{-1}$  pour le 1-OHP et en  $\text{nmol.mol}^{-1}$  pour le 3-OHBaP

NS : non significatif

Quel que soit le moment de prélèvement, le secteur et le biomarqueur étudié (1-OHP ou 3-OHBaP) le tabagisme était systématiquement lié aux niveaux du biomarqueur. Les niveaux sont statistiquement plus élevés chez les fumeurs que chez les non-fumeurs. On retrouve ainsi en FSFP dans le secteur de l'aluminium une moyenne géométrique des niveaux à  $0.768 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  chez les fumeurs contre  $0.349 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  chez les non-fumeurs ( $p < 0,01$ ). Seuls les niveaux de 3-OHBaP en DSDP ne sont pas significativement plus élevés chez les fumeurs, probablement en lien avec un défaut de puissance du fait que le groupe non-fumeur ne comprend qu'un seul individu.

Contrairement au tabac, le fait de porter un masque de protection respiratoire n'est jamais significativement associé aux concentrations de biomarqueur mesuré. On précise que le nombre de sujets qui ne portent pas de masque est systématiquement bien inférieur au nombre de sujets en portant. Ainsi par exemple dans le secteur du silicium en FSFP, 179 sujets rapportent porter un masque contre 7 qui n'en portent pas.

## **D. Discussion**

Cette étude s'intéressait à 422 maçons fumistes, tous des hommes, dans une tranche d'âge allant de 18 à 62 ans. Ils se répartissaient en 3 groupes distincts en fonction de leur secteur d'activité. Le statut tabagique des maçons ne différait pas significativement d'un groupe à un autre. Une surveillance biologique des expositions aux HAP a été réalisée grâce à un total de 1123 échantillons biologiques, 862 pour la surveillance du 1-OHP et 261 pour la surveillance du 3-OHBaP. Si la littérature

concernant l'exposition aux HAP dans le secteur de la métallurgie est importante, il s'agit de la première étude menée spécifiquement chez les maçons fumistes. Maçons fumistes qui sont par ailleurs très peu décrits dans la littérature.

Les niveaux de 1-OHP retrouvés, tous moments de prélèvement confondus, sont globalement plus élevés dans le secteur de la production d'aluminium et plus bas dans celui de la métallurgie. Ceci reste vrai pour les prélèvements de FSDP et de FSFP. Pour les prélèvements de DSDP, seuls les niveaux du secteur de production de silicium sont plus élevés que ceux de la métallurgie ( $p < 0,01$ ). Les activités les plus exposantes sont les activités de brasquage pour le secteur de l'aluminium et le damage pour le secteur du silicium.

Les maçons du secteur de la métallurgie déclaraient porter significativement moins de masque que les maçons du secteur de l'aluminium ou du silicium, laissant de fait supposer une exposition globale aux HAP bien plus faible dans le secteur de la métallurgie. De plus, on rappelle que seuls 5% des sujets ne portaient pas de masques, et parmi les maçons portant un masque, 99% portaient un masque avec filtre à particules de type P2 constituant une protection adaptée.

On retrouve une grande hétérogénéité des niveaux mesurés, ce qui est également retrouvé dans la littérature où certaines études trouvent des niveaux médians en FSFP de  $0,3 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  (58) quand d'autres trouvent des niveaux de l'ordre de  $20 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  (59). Concernant les niveaux de 1-OHP, ceux-ci sont bien inférieurs à ceux classiquement retrouvés dans la littérature dans la production d'aluminium, probablement en lien avec des activités exercées différentes. En effet, aucune étude à l'heure actuelle n'est centrée sur les maçons fumistes, nous pouvons donc retrouver dans la littérature des salariés ayant travaillé proche des cuves d'électrolyse à anode

Söderberg (59) ou des postes de maintenance au département carbone (23); alors que dans notre étude, l'exposition principale aux HAP est retrouvée dans les liants utilisés, qui depuis des années n'ont cessé de voir baisser leur concentration en HAP. Les seules études retrouvant des niveaux similaires ou inférieurs aux nôtres dans la production d'aluminium sont des études environnementales de témoins vivant à proximité d'usines (60) (61) (62). Si la littérature est abondante dans le secteur de la production d'aluminium, elle l'est beaucoup moins dans le secteur de la production de silicium. Les rares études sur le sujet trouvent des niveaux d'expositions légèrement plus élevés aux nôtres en FSFP ( $0.,50\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), du fait d'activités réalisées près des électrodes du four contenant du goudron de houille et non de réfection sur four généralement froid comme dans notre étude (23)(63)

Concernant les niveaux de 3-OHBaP on ne remarque pas de différence statistiquement significative entre les secteurs ( $p > 0,5$ ) bien qu'en FSFP16 les niveaux semblent plus élevés dans le secteur aluminium que dans le secteur métallurgie, probablement en lien avec un défaut de puissance ( $n=7$  dans le secteur métallurgie). La mesure des niveaux de 3-OHBaP en FSFP16 est faiblement décrite dans la littérature. Toutefois là encore, nos niveaux sont plus bas que ceux décrits (23) (64).

Bien que les niveaux restent globalement faibles, on observe des niveaux de 1-OHP significativement plus élevés en FSFP qu'en DSDP ( $p < 0,01$ ). Les niveaux sont également plus élevés en FSFP qu'en FSDP traduisant exposition aux HAP durant la journée (effet jour). Et les niveaux sont également plus élevés en FSDP qu'en DSDP, traduisant une accumulation sur la semaine (effet semaine). En revanche les niveaux ne sont pas plus élevés en FSFP16 qu'en FSFP, ne traduisant pas une exposition cutanée majoritaire. L'exposition professionnelle aux HAP est également démontrée par la mesure des niveaux de 3-OHBaP qui sont significativement plus élevés en

FSFP16 qu'en DSDP. Notre étude, en concordance avec les données retrouvées dans la littérature, démontre que les niveaux de 1-OHP et de 3-OHBaP sont systématiquement significativement plus élevés chez les fumeurs que chez les non-fumeurs, peu importe le moment de prélèvement (56). Toutefois le nombre de fumeurs étant identique entre les secteurs ( $p > 0,5$ ), celui-ci ne crée pas un biais.

Au final, 16,7% des prélèvements de 1-OHP en FSFP dépassent la valeur guide de l'ACGIH de  $1 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Toutefois tous ces niveaux élevés ont été enregistrés avant 2014, et plus des trois quarts d'entre eux datent d'avant 2010. Ceci s'explique par le fait que la teneur en HAP des produits a largement diminué au cours de ces 20 dernières années. Ceci est notamment vrai au niveau des pâtes à brasque utilisées dans le brasquage qui depuis le début des années 2010 ne contiennent plus d'HAP (11). Toutefois les niveaux médians en FSFP dépassent les valeurs observées en population générale dans plus de trois quarts des cas, à statut tabagique équivalent, traduisant une exposition professionnelle aux HAP.

Les mêmes observations peuvent être faites pour le 3-OHBaP où 14,3% des prélèvements de FSFP16 dépassent la VLB recommandé par l'INRS de  $0,4 \text{ nmol}\cdot\text{mol}^{-1}$  et plus de 60% dépassent les niveaux observés en population générale. Si le 3-OHBaP est plus difficilement dosable car présent en de plus faibles proportions, il reste indispensable car il représente le risque cancérigène, ce qui n'est pas le cas du 1-OHP (46)(51).

Devant les niveaux actuels qui sont faibles mais qui démontrent tout de même une exposition aux HAP, il faut réaffirmer le rôle du médecin du travail dans la prévention des risques cancérigènes pour les salariés et dans leur suivi renforcé. Le rôle du médecin du travail dans la promotion du port du masque comme outil de prévention

est indispensable. Un suivi et une incitation au sevrage tabagique contribuerait également à baisser les niveaux, une attention particulière doit y être portée car 55,6% des maçons fumistes déclarent une consommation de tabac, quand ce niveau est de 32% en population générale pour l'année 2020 (source Santé Publique France). Il est important de souligner la difficulté du suivi des maçons fumistes car ce corps de métier intervient une grande partie du temps en sous-traitance dans les entreprises. Ceci représente un challenge en termes de suivi et de prévention pour le médecin du travail de l'entreprise, qui doit apporter une attention toute particulière à cette population à risque (65).

## **E. Conclusion :**

Cette étude réalisée sur 422 sujets, a permis de démontrer une diminution de l'exposition aux HAP au cours de ces 20 dernières années dans un corps de métier peu étudié que sont les maçons fumistes. Les expositions actuelles sont basses mais l'exposition professionnelle reste certaine. Elle permet de rappeler l'importance du rôle du médecin du travail dans la promotion de la prévention par le port d'EPI adapté (masque) et l'utilisation de la surveillance biologique des expositions comme un élément simple et indispensable de la prévention ainsi que du dépistage.

**III. Pathologies d'origine  
professionnelle chez les maçons  
fumistes enregistrées dans la  
base de données RNV3P**

## A. Introduction

Hormis quelques études retrouvées dans les archives de maladie professionnelle, la littérature est très pauvre concernant les risques professionnels des maçons fumistes. Dans cette partie, nous avons étudié les effets sanitaires rapportés chez les maçons fumistes par le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P). Le RNV3P est constitué de professionnels de la santé au travail, basés dans 28 centres de consultation de pathologie professionnelle (CCPP) sur le territoire métropolitain et d'outre-mer. Il assure environ 30 000 consultations par an. Les missions du réseau sont la recherche des risques sanitaires émergents ou ré-émergents en santé au travail, et la description des situations professionnelles à risque sanitaire. Après une investigation, le médecin expert des CCPP peut établir un lien entre les expositions professionnelles et la pathologie ayant motivé la consultation. Le but du RNV3P est d'enregistrer les informations de la consultation dans une base nationale. Les informations essentielles rapportées lors de la consultation sont codées dans une base. On retrouve des informations sur la pathologie principale avec un codage CIM-10, les expositions et co-expositions sont notifiées, ainsi que leur imputabilité par rapport à la pathologie principale. Le médecin expert de CCPP se prononce sur le degré d'imputabilité entre la pathologie principale et les expositions identifiées, il peut être « fort », « moyen », « faible » ou « pas de relation ». Les informations concernant le métier sont codées à l'aide du code CITP88/08 (Classification Internationale Type des Professions) élaboré par le bureau international du travail, et le secteur d'activité par le code NAF93/03 (Nomenclature d'Activité Française) (66) (67)

## **B. Matériel et méthode**

Lors de son travail d'expertise pour la consultation du RNV3P, le médecin spécialiste en santé au travail se positionne sur le caractère professionnel ou non de la pathologie principale, pouvant aboutir à une conclusion de pathologie en relation avec le travail (PRT).

### **Critères d'extraction**

Une demande d'extraction de la base de données RNV3P sur une période allant de 2001 à 2020 a été formulée par le CHU Grenoble Alpes au niveau national.

Plusieurs critères de sélection ont été retenus pour cette extraction :

1 - La conclusion des consultations devait systématiquement être une PRT avec des nuisances identifiées dont au moins une avec une imputabilité moyenne ou forte.

2 - Le secteur d'activité (codage NAF) devait être un codage NAF98 pour les consultations avant 2008, et un codage NAF08 pour les consultations depuis 2008, la variable NAF ayant été transcodée en 2008 afin de les harmoniser à la dernière version en date (2008). Les secteurs sélectionnés étaient :

- Le secteur 24 : métallurgie comprenant la sidérurgie, la fabrication de tubes, tuyaux et accessoires en acier, la fabrication d'autres produits de transformation de l'acier, la fabrication de métaux précieux et d'objets non ferreux ainsi que la fonderie.
- Le secteur 28.21 : fabrication de fours et brûleurs.
- Le secteur 43.99D : autres travaux de construction spécialisés, comprenant notamment la construction de cheminées et de fours industriels, revêtements réfractaires de fours.

3 - Le métier, codé à l'aide du code CITP08, devait correspondre au code CITP 7112 « Maçon » ou au code 7114 « Constructeurs en béton armé, maçons ragréeurs et assimilés » ou nous devons retrouver la présence du mot « fumiste » dans les textes libres (mémo clinique ou description de la tâche principale).

### **Analyse des données extraites**

Une rapide description globale concernant les pathologies (CIM-10) rencontrées ainsi que les secteurs d'activité a été réalisée. Avant de s'intéresser plus en détail à deux pathologies principales, les « maladies de l'appareil respiratoire » et ce que nous appellerons ici les « les tumeurs HAP » qui regroupe les tumeurs broncho-pulmonaires et les tumeurs de la vessie, qui peuvent toutes deux être induites par les HAP (24). Ce choix a été fait au vu des secteurs NAF sélectionnés, qui sont reconnus pour être exposants aux HAP.

## **C. Résultat**

Un total de 178 PRT a été trouvé dans la base RNV3P selon les critères définis précédemment. La population est composée 176 hommes (98,9%) pour 2 femmes (1,1%). L'âge moyen à la première consultation est de 62 ans (minimum : 20 ans, maximum 88 ans) avec une distribution normale.

### **Secteurs d'activité**

Les secteurs d'activité sont représentés dans le tableau 7. Le secteur le plus représenté est celui de la métallurgie avec 50% des effectifs (dont 25,8% en sidérurgie) et le second celui des autres travaux spécialisés de construction.

Tableau 7: Répartition par secteurs des PRT, issues de l'extraction RNV3P

<b>Secteur NAF08</b>	<b>Effectif</b>	<b>Pourcentage</b>
24-Métallurgie	8	4,5
24.10Z-Sidérurgie	46	25,8
24.20Z-Fabrication de tubes, tuyaux, profilés creux et accessoires correspondants en acier	2	1,1
24.42Z-Métallurgie de l'aluminium	4	2,2
24.45Z-Métallurgie des autres métaux non ferreux	3	1,7
24.46Z élaboration et transformation de matières nucléaires	1	0,6
24.51Z-Fonderie de fonte	12	6,7
24.52Z-Fonderie d'acier	11	6,2
24.53Z-Fonderie de métaux légers	2	1,1
28.21Z-Fabrication de fours et brûleurs	24	13,5
43.99D-Autres travaux spécialisés de construction	65	36,5
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>100</b>

### **Profession, code CIP**

Suite à l'ajout du mot clé « fumiste » à la demande d'extraction, d'autres codes métier que ceux demandés initialement sont ressortis (du fait d'expositions ayant eu lieu lors d'exercices antérieurs ou car le sujet effectuait des activités de maçon fumiste en sus de son activité principale). Ils sont présentés dans le tableau 8. Si le métier de maçon (CIP 7112) reste largement majoritaire avec 80,3% des PRT, on note l'apparition d'autres codes métier tel que les conducteurs d'installations de transformation et de traitement des métaux (4,5%) ou encore les mouleurs et noyauteurs (3.4%).

Tableau 8: Répartition des PRT par profession

Code métier CITP	Effectif	Pourcentage
3152(CITP-88)-Inspecteurs de sécurité et d'hygiène, et contrôleurs de qualité (CITP-88)	1	0,6
5220 (CITP-88)-Vendeurs et démonstrateurs en magasin (CITP-88)	1	0,6
7112-Maçons	143	80,3
7114-Constructeurs en béton armé, maçons agrégés et assimilés	11	6,2
7119-Métiers qualifiés du bâtiment (gros œuvre) et assimilés non classés ailleurs	1	0,6
7123-Plâtriers	1	0,6
7124-Monteurs en isolation thermique et acoustique	2	1,1
7211-Mouleurs et noyauteurs de fonderie	6	3,4
7212-Soudeurs et oxycoupeurs	1	0,6
7222-Outilleurs et assimilés	1	0,6
8121-Conducteurs d'installations de transformation et de traitement des métaux	8	4,5
8290 (CITP-88)-Autres conducteurs de machines et ouvriers de l'assemblage (CITP-88)	1	0,6
9329-Manœuvres des industries manufacturières non classés ailleurs	1	0,6
Total	178	100

### Pathologie principale, CIM-10

Le tableau 9 représente les pathologies principales en relation avec le travail. Les tumeurs et maladies de l'appareil respiratoire sont largement majoritaires et représentent à elles-seules 83.2% des 178 PRT. Elles seront étudiées plus en détail dans un prochain paragraphe. Les autres pathologies sont peu représentées. Par exemple, entre 2001 et 2020, seulement 5 maladies de la peau et du tissu cellulaire cutané sont rapportées, soit 2.8%. Les maladies du système ostéoarticulaire, des muscles et du tissu conjonctif, ainsi que les maladies de l'oreille et de l'apophyse mastoïde représentent chacune 3.9% des PRT. Certaines pathologies sont notées

« ZZ-Spécifique RNV3P » car elles ne sont pas retrouvées dans le codage CIM-10, il s'agit de 2 syndromes aigus neuro-dégénératifs, d'une hyperactivité bronchique et d'une atelectasie par enroulement.

Tableau 9: répartition des PRT par codage CIM-10

<b>Pathologie principale CIM-10</b>	<b>Effectif</b>	<b>Pourcentage</b>
(C00-D48)-Tumeurs	43	24,2
(F00-F99)-Troubles mentaux et du comportement	1	0,6
(H60-H95)-VIII. Maladies de l'oreille et de l'apophyse mastoïde	7	3,9
(I00-I99)-Maladies de l'appareil circulatoire	1	0,6
(J00-J99)-Maladies de l'appareil respiratoire	105	59
(L00-L99)-Maladies de la peau et du tissu cellulaire sous-cutané	5	2,8
(M00-M99)-Maladies du système ostéo-articulaire, des muscles et du tissu conjonctif	7	3,9
(R00-R99)-Symptômes, signes et résultats anormaux d'examens cliniques et de laboratoire, non classés ailleurs	2	1,1
(S00-T98)-Lésions traumatiques, empoisonnements et certaines autres conséquences de causes externes	3	1,7
ZZ-Spécifique RNV3P	4	2,2
Total	178	100

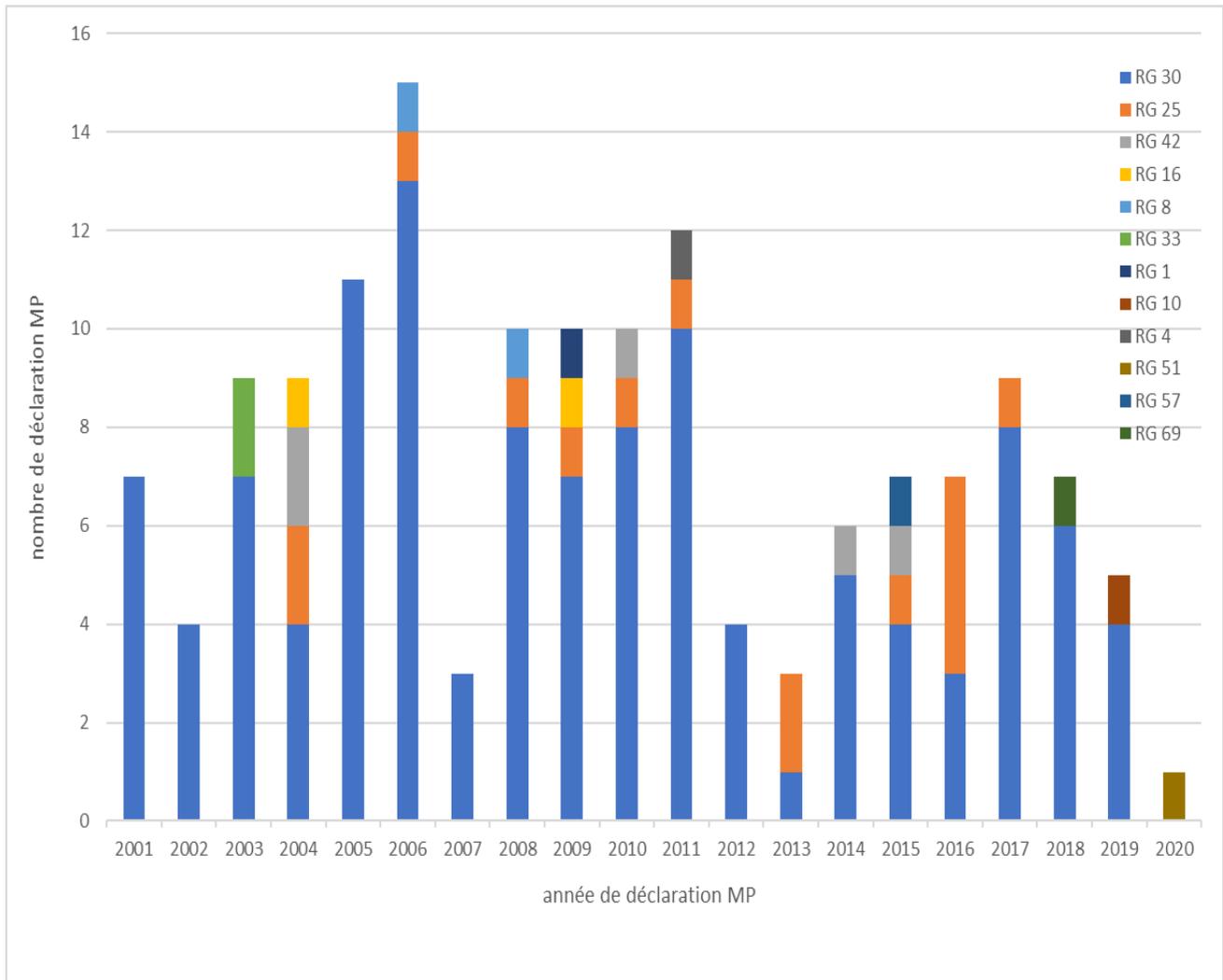
Sur les 178 PRT, 149 (83.7%) se soldent par un conseil de déclaration en pathologie professionnelle. Le détail des tableaux de maladie professionnelle déclarée ou à déclarer est présenté en tableau 10. Une représentation graphique en histogramme groupé des pathologies déclarées en MP (maladie professionnelle) du régime général (RG) et par année est présentée dans la figure 7.

Tableau 10: Maladie professionnelle conseillé après consultation en CCPP

<b>Maladie Professionnelle du régime général</b>	<b>Fréquence</b>	<b>Pourcentage</b>
RG1 : Affections dues au plomb et à ses composés	1	0,7
RG10: Ulcérations et dermites provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins, le chromate de zinc et le sulfate de chrome	1	0,7
RG16: Affections provoquées par les goudrons de houille, les huiles de houille, les brais de houille et les suies de combustion du charbon	2	1,3
RG25: Affections dues à la silice cristalline, aux silicates cristallins, au graphite ou à la houille	15	10,1
RG30: Affections consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante	117	78,5
RG33: Maladies professionnelles dues au béryllium et à ses composés	2	1,3
RG4: Hémopathies provoquées par le benzène et tous les produits en renfermant	1	0,7
RG42: Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels	5	3,4
RG51: Maladies professionnelles provoquées par les résines époxydiques et leurs constituants (*)	1	0,7
RG 57: Affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail	1	0,7
RG69: Vibrations et chocs transmis au système main/bras	1	0,7
RG8: Affections causées par les ciments (alumino-silicates de calcium)	2	1,3
Total	149	100,0

Sur les CPP dont la conclusion de la consultation est un conseil de déclaration en MP ; 78.5% de ces déclarations sont conseillées au titre du tableau 30 du RG, affections consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante. Et un peu plus de 10% d'entre elles le sont au titre du tableau 25, affections dues à la silice cristalline, aux silicates cristallins, au graphite ou à la houille.

Figure 7: déclaration en MP conseillée par année à la suite d'une CPP



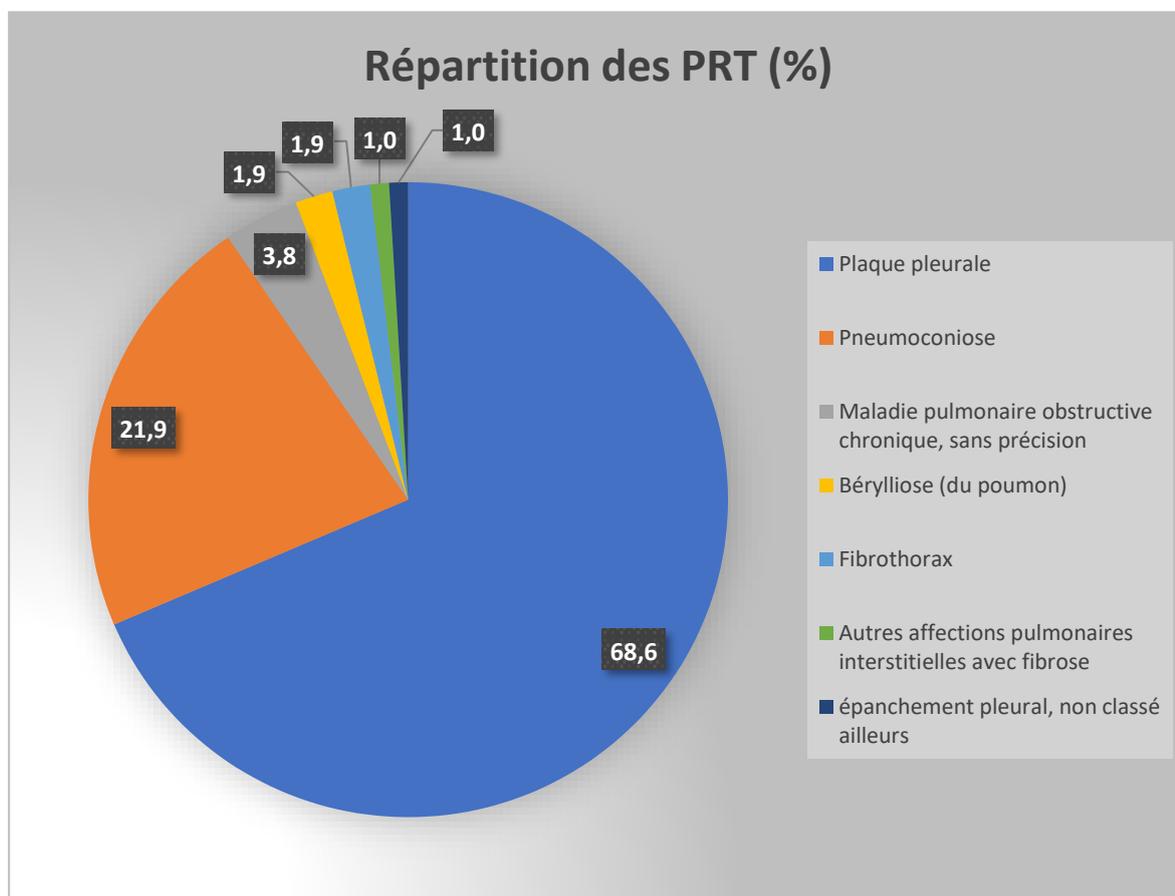
## 1. Maladie de l'appareil respiratoire

105 des 178 PRT sont des maladies de l'appareil respiratoire. 50,5% des 105 PRT sont retrouvées dans le secteur de la métallurgie, 29,5% dans les travaux spécialisés de construction et 20% dans la fabrication de fours et de brûleurs.

Parmi ces maladies de l'appareil respiratoire, nous retrouvons 66,8% de plaque pleurale, 21,9% de pneumoconiose (12,4% due à la poussière de silice, 12,4% due à l'amiante et 1,9% dont l'origine n'est pas précisée), 3,8% de maladie pulmonaire obstructive chronique, et enfin nous retrouvons à de très faibles pourcentages

(inférieurs à 2%) : béryllose, fibrothorax, épanchement pleural et autres affections pulmonaires interstitielles avec fibrose.

Figure 8: Répartition des PRT (maladie de l'appareil respiratoire) par pathologie principale



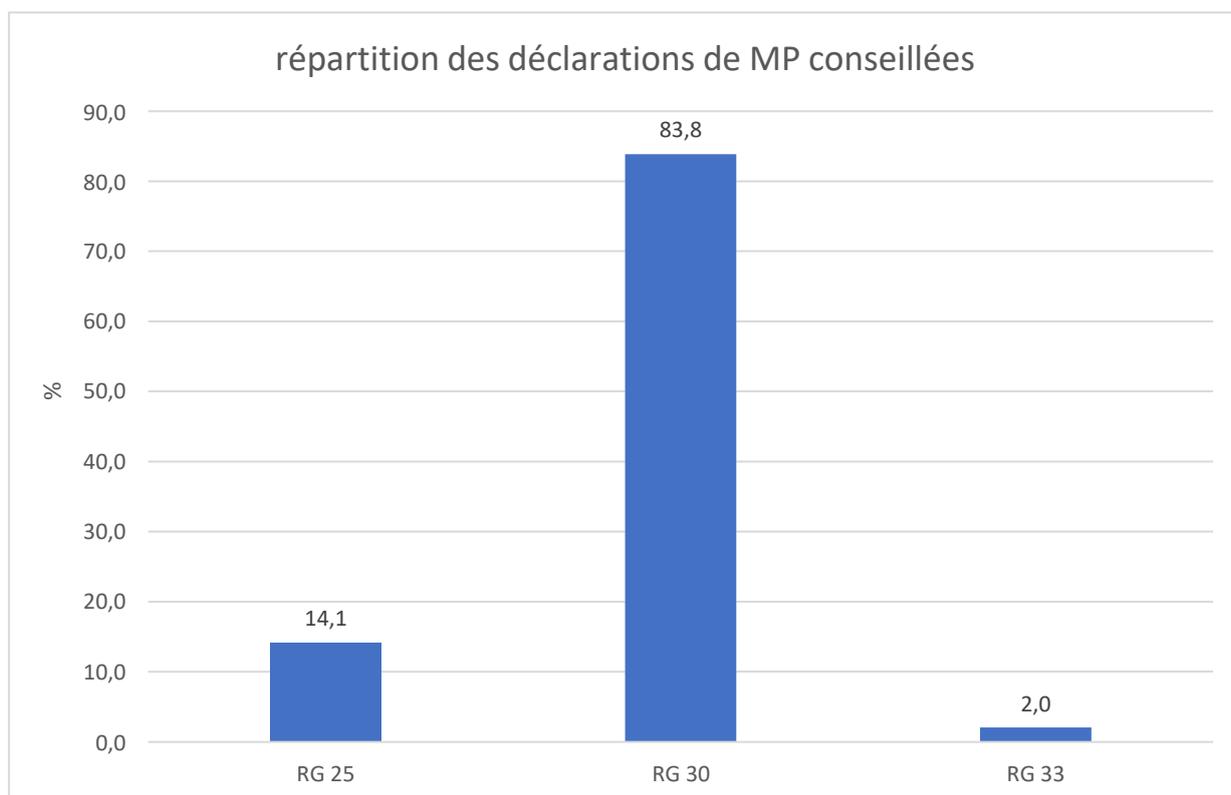
L'amiante et la silice sont les deux nuisances principales identifiées. L'amiante est imputée dans 83,8% des cas (88 des 105 PRT) avec une imputabilité forte dans 89,8% des cas (n=79) et moyenne dans 10,2% des cas (n=9). La silice est imputée dans 21,9% des cas (23 des 105 PRT), avec une imputabilité forte dans 69,6% des cas (n=16), moyenne dans 17,4% des cas (n=4) et faible dans 13% des cas (n=3).

Dans une bien moindre mesure, deux autres nuisances sont identifiées, il s'agit des HAP pour 5,7% des cas (6 des 105 PRT) et majoritairement avec une imputabilité

faible. On retrouve également de béryllium chez 2 des 105 PRT, avec une imputabilité faible pour l'un et moyenne pour l'autre.

A l'issue des CPP la déclaration en MP est recommandée dans 98,1% des cas. Les rares cas pour lesquels la déclaration n'est pas conseillée sont dus à un manque de données cliniques. La répartition des MP conseillées à l'issue de la consultation est représentée dans la figure 9. Quand une déclaration en MP est conseillée, il s'agit dans 83,8% des cas d'une MP au titre du tableau 30 du RG, Affections consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante.

Figure 9: répartition (%) des déclarations de MP conseillées pour les maladies de l'appareil respiratoire



## 2. Tumeur HAP induite

Parmi les pathologies principales des 178 PRT, après les maladies de l'appareil respiratoire, le deuxième grand groupe de pathologies retrouvées est celui des tumeurs, qui représente 43 PRT soit 24,2%, dont la majorité (n=31) sont des tumeurs bronchopulmonaires. Nous avons décidé dans le cadre de cette thèse de nous intéresser aux tumeurs qui peuvent être favorisées par les HAP, ici 31 tumeurs broncho-pulmonaires et 3 tumeurs de la vessie, soit 34 PRT que nous qualifierons comme « tumeur HAP induite ». 67,6% de ces 34 PRT sont retrouvées dans le secteur de la métallurgie, 29,4% dans les travaux de construction spécialisés, et seulement 2,9% dans la fabrication de fours et de brûleurs.

Trois nuisances principales ont été identifiées, l'amiante, les HAP et la silice. L'amiante est imputée dans 28 des 34 PRT (82,4%), avec une imputabilité forte dans 60,7% des cas (n=17), moyenne dans 35,7% des cas (n=10) et faible dans 3,6% des cas (n=1). Les HAP sont imputés dans 11 des 34 PRT (32,4%) avec une imputabilité forte dans 27,3% des cas (n=3) et moyenne dans 72,7% des cas (n=8). Enfin la silice est imputée dans 12 des 34 PRT (35,3%) avec une imputabilité forte dans 25% des cas (n=3), moyenne dans 58,3% des cas (n=7) et faible dans 16,7% des cas (n=2).

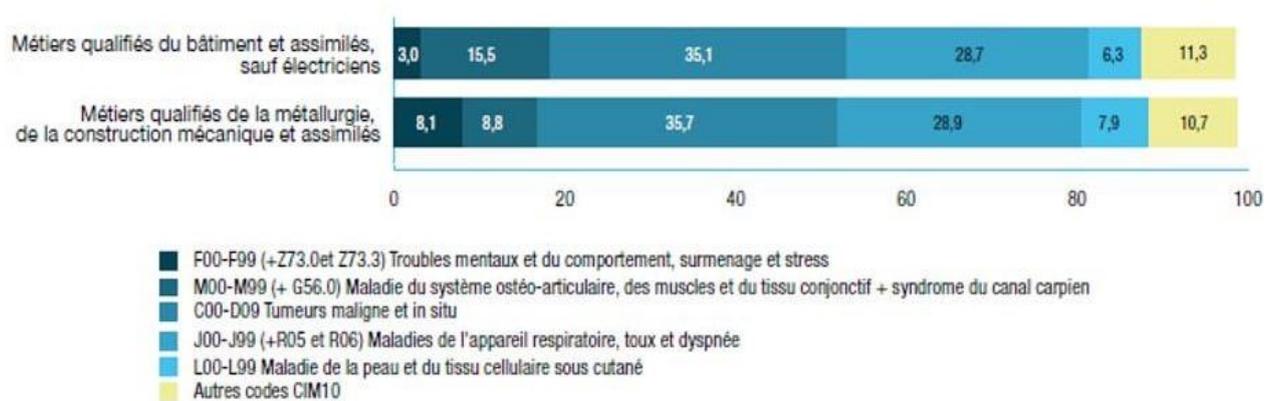
La conclusion de la CPP était dans 84,8% des cas un conseil de déclaration en maladie professionnelle. Les 15,2% de déclaration en MP non conseillée étaient systématiquement en lien avec un manque de données cliniques. Hormis pour une consultation déclarée au titre de tableau 16 du régime générale (affections provoquées par les goudrons de houille, les huiles de houille, les brais de houille et les suies de combustion du charbon) il est conseillé de déclarer au titre du tableau 30 du régime générale (affections consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante).

## D. Discussion

Deux familles de pathologies principales ressortent de cette étude, il s'agit des maladies de l'appareil respiratoire et des tumeurs. Les pathologies de l'appareil respiratoire retrouvées sont en grande majorité des plaques pleurales, et les pathologies tumorales principalement des cancers broncho pulmonaires. La nuisance principale identifiée majoritairement est l'amiante pour chacun de ces deux groupes de pathologies. L'amiante était autrefois présente dans les fours d'aciérie comme isolant, une exposition est donc possible lors des travaux de rénovation. On rappelle par ailleurs que son interdiction d'utilisation sur le territoire français ne date que de 1997 (32) et que la plupart des salariés de l'étude n'étaient plus en poste au moment de la consultation (retraité, inactif, etc) avec une exposition qui est définie comme antérieure dans près de 75% des CPP de l'étude. Quand l'information est disponible dans le mémo clinique, nous pouvons remarquer que la majorité des salariés de l'étude étaient en poste depuis plusieurs années avant cette interdiction d'utilisation, expliquant cette prédominance de l'amiante comme nuisance principale identifiée. La consultation se soldait la plupart du temps par un conseil de déclaration en maladie professionnelle, au titre du tableau 30. Toutefois, les données collectées semblent indiquer une décroissance de ces conseils de déclaration en maladie professionnelle, concordant avec les données de l'assurance maladie qui sur les 10 dernières années enregistrent une baisse des maladies professionnelles reconnues au titre du tableau 30 (45).

En 2018, les métiers qualifiés du bâtiment et les métiers qualifiés de la métallurgie étaient les deux postes de travail les plus représentés dans le RNV3P (68). La répartition des pathologies principales à ce poste est représentée en Figure 10.

Figure 10: répartition des pathologies parmi les PRT en 2018 [Rapport d'activité RNV3P]



On peut constater que là où dans notre étude les maladies de l'appareil respiratoire sont largement majoritaires, au niveau national ce sont les tumeurs malignes qui sont dominantes. Toutefois, on rappelle que dans le cadre de notre étude nous avons décidé de nous intéresser uniquement aux maçons fumistes et non à tous les corps de métiers qui pourraient être représentés dans la figure 4. Les maladies du système ostéoarticulaire sont également moins représentées dans notre étude (3,9%).

Si le système de déclaration en maladie professionnelle est intéressant, en termes de veille sanitaire il sous-estime certains risques, soit du fait de conditions différemment restrictives selon les tableaux, soit par l'absence de tableaux (69).

Dans le rapport scientifique du RNV3P pour l'ANSES en 2018 centré sur les cancers bronchopulmonaires, les 3 premières nuisances identifiées sont les mêmes que dans notre étude, à savoir l'amiante, la silice et les HAP. Les 5 secteurs d'activité les plus représentés sont dans l'ordre, les travaux de construction spécialisés, la construction de bâtiments, la réparation et installation de machines et d'équipements, le commerce et réparation d'automobiles et motocycles et enfin le secteur de la métallurgie. Le métier de maçon est le troisième plus représenté après les mécaniciens et plombiers.

Lorsque les HAP sont identifiés comme exposition principale, les secteurs les plus retrouvés sont ceux des travaux de construction spécialisés et la métallurgie. Tout comme dans notre étude, les déclarations conseillées en MP le sont principalement au titre du tableau 30, et même lorsqu'une exposition aux HAP est identifiée, les déclarations sont le plus souvent liées à une co-exposition à l'amiante (69). Les données retrouvées dans ce rapport sont très similaires à celles retrouvées dans notre étude.

Si les informations sur les nuisances identifiées sont plus importantes dans le réseau RNV3P que sur les données de maladie professionnelle, il reste dans notre étude la question de l'exposition aux HAP qui semble peu représentée malgré des secteurs et des postes pourvoyeurs d'exposition aux HAP. L'INRS a publié une fiche d'aide au repérage de produits cancérigènes chez les maçons fumistes. Elle répertorie les cancérogènes avérés ou suspectés auxquels peuvent être exposés les maçons fumistes. Si l'exposition à l'amiante n'est que possible, l'exposition aux HAP est quant à elle certaine (70).

Rappelons que les consultations de pathologies professionnelles sont réalisées par des médecins experts de santé au travail, avec chacun leurs domaines de prédilection créant un recrutement préférentiel de certaines pathologies en fonction des centres (71). De plus, la médiane d'âge de 62 ans à la consultation est probablement également en cause dans le manque d'information retrouvée sur les diverses nuisances, les expositions anciennes étant plus difficiles à caractériser. La forte médiatisation des effets de l'amiante sur la santé peut également être un facteur expliquant cette faible déclaration d'exposition aux HAP, les sujets se concentrant davantage sur leur possible exposition à l'amiante que sur d'autres expositions.

Une fois qu'une exposition est définie, l'imputabilité qui lui est attribuée par l'expert du CCPP dépend du niveau de précision de cette exposition. Les médecins du travail ont un rôle à jouer dans ce niveau de précision à apporter. Ceci démontre l'importance de la surveillance biologique des expositions et donc de l'importance pour le médecin du travail de bien connaître ses entreprises et les différents risques possibles. Cette connaissance est plus aisée quand les entreprises ont un service de santé au travail autonome, les « petites » entreprises ayant un taux de sinistralité plus élevé (72) probablement du fait de moyens plus importants mis dans la prévention quand l'entreprise bénéficie de son propre service de santé au travail.

## **E. Conclusion**

Les données étudiées retrouvent une prévalence importante des pathologies de l'appareil respiratoire ainsi que des tumeurs chez les maçons fumistes. Ces pathologies sont en lien avec une forte exposition à l'amiante et plus faiblement aux HAP et à la silice. Le métier de maçon fumiste n'étant pas directement codé dans la base de données, une perte d'information est possible. Ces résultats soulignent le rôle majeur des CCPP dans le repérage des expositions professionnelles, mais montre également ses limites en termes d'exhaustivité et de veille sanitaire. Il ressort donc de ce travail l'importance du rôle des médecins du travail sur le terrain et dans la surveillance biologique des expositions ainsi que la transmission au salarié des résultats d'examens réalisés, au moment de la retraite. Il est important que le médecin du travail et le médecin expert de CCPP travaillent en collaboration.

# Conclusion générale

Ce sujet de thèse avait pour objectif de se pencher sur un corps de métiers très peu étudié : les maçons fumistes. Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à l'évaluation des niveaux d'exposition aux HAP des maçons fumistes du secteur de la métallurgie, puis dans un deuxième temps au recensement des pathologies professionnelles rapportées en France via le RNV3P.

Il s'agit d'une population particulièrement difficile à suivre, car nombre de maçons fumistes travaillent sur des chantiers en tant que sous-traitant, générant ainsi une difficulté de suivi et de prévention.

Notre étude retrouve une exposition aux HAP toujours présente, avec des niveaux retrouvés la plupart du temps supérieurs à ceux observés en population générale. Toutefois, on constate une nette diminution de cette exposition au cours des 20 dernières années en relation avec l'amélioration des matériaux utilisés par les industriels, telles que les pâtes de brasque totalement dépourvues d'HAP. La diminution des niveaux biologiques peut également s'expliquer par le port d'EPI adaptés, promu par les médecins du travail.

Concernant les pathologies professionnelles recensées au niveau du réseau RNV3P, une grande majorité des maçons fumistes consultent pour une pathologie de l'appareil respiratoire ou un cancer. Les consultations se soldant dans la grande majorité des cas par un conseil de déclaration en pathologie professionnelle, soulignant le rôle important des CCPP en termes de réparation pour le salarié et de veille sanitaire. L'exposition majoritairement retrouvée est l'amiante, vient ensuite la silice puis les HAP.

THÈSE SOUTENUE PAR : Sabine RATAJSKI

TITRE :

LES MAÇONS FUMISTES : EXPOSITION AUX HYDROCARBURES AROMATIQUES DANS DIFFERENTS SECTEURS DE LA METALLURGIE ET RISQUES SANITAIRES

CONCLUSION :

Introduction : Le maçon fumiste, métier d'hyper spécialisation en maçonnerie, approvisionne, met en œuvre, répare ou démolit les revêtements réfractaires et isolants d'ouvrages soumis à de très hautes températures. Les études sur les maçons fumistes sont aujourd'hui très rares, et les risques associés à leurs activités mal décrits, aussi bien en termes d'exposition aux HAP que de risques sanitaires plus globaux. L'objectif de ce travail était dans un premier temps d'évaluer les niveaux d'exposition aux HAP des maçons fumistes du secteur de la métallurgie, puis de recenser les pathologies professionnelles rapportées en France.

Matériel et méthode : Afin d'évaluer l'exposition aux HAP, étaient inclus dans l'étude les maçons fumistes ayant bénéficié d'une campagne de surveillance biologique des expositions professionnelles au sein de leur entreprise entre 2000 et 2021. Les sujets avaient au préalable donné leur consentement afin que les résultats de leurs prélèvements biologiques puissent être enregistrés dans la base de données Exporisq. Les niveaux urinaires de 1-OHP et de 3-OHBaP enregistrés dans cette base ont été analysés afin de déterminer les niveaux d'exposition des maçons fumistes.

Une extraction des données sur les effets sanitaires collectés chez les maçons fumistes dans la base de données RNV3P sur une période allant de 2001 à 2020 a été réalisée pour les secteurs de la métallurgie, de la fabrication de fours et des autres travaux de construction spécialisés.

Résultats / Discussion : Pour l'analyse de l'exposition aux HAP, 422 sujets ont été inclus dans l'étude pour un total de 1123 échantillons urinaires prélevés à différents moments de la semaine de travail. Les sujets se répartissaient en 3 secteurs : la production d'aluminium, la production de silicium et les autres secteurs de la métallurgie. Les niveaux urinaires de 1-OHP, tous moments de prélèvement confondus, étaient globalement plus élevés dans le secteur de la production d'aluminium et plus bas dans celui des autres secteurs de la métallurgie. En revanche, pour les niveaux de 3-OHBaP, aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les secteurs. Les niveaux les plus élevés étaient retrouvés sur des prélèvements urinaires d'avant 2016 pour les 2 biomarqueurs. Les niveaux étaient globalement plus bas que ceux rapportés dans la littérature, probablement du fait d'une baisse réelle des expositions avec la modernisation des matériaux employés (diminution ou disparition des HAP contenus dans les liants) ainsi que du port masques respiratoires adaptés. En effet, seuls 5% des sujets ne portaient pas de masques et parmi les maçons portant un masque, 99% portaient un masque avec filtre à particules.

Dans la base RNV3P, 178 pathologies en relation avec le travail ont été trouvées selon les critères définis. Deux familles de pathologies principales ressortent de cette étude : les maladies de l'appareil respiratoire (plaques pleurales) et des tumeurs (cancer broncho-pulmonaire). La nuisance principale identifiée est majoritairement l'amiante pour chacun de ces deux groupes de pathologies, viennent ensuite l'exposition à la silice et aux HAP.

Conclusion : Nos résultats montrent une diminution de l'exposition aux HAP au cours des 20 dernières années chez les maçons fumistes. Mais l'exposition existe encore pour certaines activités soulignant le rôle important du médecin du travail dans la mise en place de moyens de prévention adaptés et d'une surveillance biologique des expositions. Si les maçons fumistes étaient dans le passé fortement exposés aux HAP, ils étaient également exposés à l'amiante qui représente une source importante de sinistralité dans ce corps de métier.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le :

LE DOYEN

  
Pour le Président  
et par délégation  
Le Doyen de Médecine  
Pr. Patrice MOIRAND

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE

  
Pr. Vincent BONNETERRE

CHU Grenoble Alpes  
Médecine et Santé au Travail  
Pr V. BONNETERRE  
Chef de Service - RPPS 1000 313 1199  
CS 10217 - 38043 GRENOBLE cedex 9

Service des thèses : [medecine-these@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:medecine-these@univ-grenoble-alpes.fr)

# Bibliographie

1. Le petit Larousse. Définitions: maçonnerie. Paris : Larousse ; 2020
2. Forsapre. Maçon TP. Fiche FAST 08-07-18. Forsapre; 2018. Disponible sur [https://www.forsapre.fr/fiches\\_fast/macon-tp-fiche-en-cours-dactualisation](https://www.forsapre.fr/fiches_fast/macon-tp-fiche-en-cours-dactualisation). Consulté le 05/12/2020
3. Forsapre. Maçon bâtiment. Fiche FAST 04-01-18. Forsapre; 2018. Disponible sur [https://www.forsapre.fr/fiches\\_fast/macon-batiment](https://www.forsapre.fr/fiches_fast/macon-batiment). Consulté le 05/12/2020
4. Merlet JD. Maçonnerie-Introduction. Réf : C2100 V2. Construction et travaux publics | Le second œuvre et l'équipement du bâtiment. Paris : Techniques de l'ingénieur ; 1996.
5. Forsapre. Maçon fumiste. Fiche FAST 09-01-19. Forsapre; 2015. Disponible sur [https://www.forsapre.fr/fiches\\_fast/macon-fumiste](https://www.forsapre.fr/fiches_fast/macon-fumiste). Consulté le 05/12/2020
6. Prévention gagnante BTP. Fiche maçon fumiste industriel GO/Activités connexes : 02.02.18. Disponible sur <http://preventiongagnantebtp.fr/>. Consulté le 05/12/2020
7. Le petit Larousse. Définitions: réfractaire. Paris : Larousse ; 2020
8. Altéo. « Réfractaire ». Altéo ; 2019. Disponible sur <https://www.alteo-alumina.com/refractaire/>. Consulté le 15/12/2020
9. INRS. Les fibres céramiques réfractaires. Fiche pratique de sécurité. Réf : ED 109. Paris : INRS ; 2017.
10. INRS. Exposition aux fibres céramiques réfractaires lors de travaux d'entretien et de maintenance. Brochure. Paris ; 2010.
11. Allard B, Tawfik M, Kumar A. Performances of Green and Eco-Friendly Ramming Pastes in EGA Pots . Metals, vol. 6, no 5, mai 2016, p. 112
12. Kansoun Z, Chaouki H, Picard D, Lauzon-Gauthier J, Alamdari H, Fafard M. Compaction of Cohesive Granular Material: Application to Carbon Paste ». Materials, vol. 14, no 4, janvier 2021, p. 704.
13. Maali, Hanae. Caractérisation physique, mécanique et électrique de la pâte à brasquer et l'effet du vieillissement sur ses performances. Mémoire de maîtrise. Université Laval ; 2018.
14. INRS. Aluminium et ses composés minéraux. Fiche toxicologique 306. Paris : INRS 2021
15. Technique de l'ingénieur. L'aluminium. Réf : TBA1066. Construction et travaux publics | Technique du bâtiment : l'enveloppe du bâtiment. Paris : Technique de l'ingénieur ; 2015.
16. Gourier-Fréry C, Fréry N. Aluminium. Encyclopédie médicochirurgicale, Pathologie professionnelle et de l'environnement. 10-002-A-10. Paris : Elsevier Masson ; 2004
17. Encyclopédie universalis. Aluminium. Disponible sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/aluminium/>. Consulté le 15/12/2020
18. Ministère de la transition écologique. Le silicium : un élément chimique très abondant, un affinage stratégique. Minéralinfo ; 2020. Disponible sur <https://www.mineralinfo.fr/ecomine/silicium-element-chimique-tres-abondant-affinage-strategique>. Consulté le 03/01/2021

19. Martineau-Pauthier E. Evaluation des niveaux d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la production de silicium et ses alliages. Médecine humaine et pathologie. 2009. Dumas-00820253.
20. Denier G. Evolution des procédés d'élaboration de l'acier liquide. Réf : M7600 V2. Matériaux| Elaboration et recyclage des métaux. Paris : Technique de l'ingénieur ; 2021
21. Bureau international du travail. Chapitre 73, la sidérurgie. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Genève : BIT ; 2000
22. Bureau international du travail. Chapitre 82, la transformation et le travail des métaux. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Genève : BIT ; 2000
23. Barbeau D, Persoons R, Marques M, Herve C, Laffitte-Rigaud G, Maitre A. Relevance of urinary 3-hydroxybenzo(a)pyrene and 1-hydroxypyrene to assess exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in metallurgy workers. The Annals of Occupational Hygiene, vol. 58, no 5, juin 2014, p. 579-90.
24. IARC. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. volume 92. Lyon: IARC; 2010
25. Nikolova-Pavageau N, Pillière F. Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques par secteur d'activité : focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles. Références en santé au travail. 2018 (154) 41-63.
26. INRS. Brais de houille. Fiche toxicologique 91. Paris : INRS ; 2021
27. Testud F. Toxicologie médicale professionnelle et environnementale. 5e édition. Paris : 2018 ; 697p.
28. Ovrebo S, Haugen A, Hemminki K, Szyfter K, Drablos PA, Skogland M. Studies of biomarkers in aluminum workers occupationally exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons. Cancer Detect Prev. 1995;19(3):258-67.
29. INRS. Benzo[a]pyrene. Fiche toxicologique 144. Paris: INRS; 2007.
30. IARC. Chemical Agents and Related Occupations. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 100F. Lyon: IARC; 2012.
31. IARC. Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 105. Lyon: IARC; 2014.
32. INRS. Amiante. Fiche toxicologique 145. Paris : INRS ; 2018
33. IARC. Arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 100C. Lyon: IARC; 2012.
34. Maxim, L. Daniel, et Mark J. Utell. Review of refractory ceramic fiber (RCF) toxicity, epidemiology and occupational exposure. Inhalation Toxicology, vol. 30, no 2, janvier 2018, p. 49-71
35. ANSES. Danger, expositions et risques relatifs à la silice cristalline. Rapport d'expertise collective. Maisons-Alfort : ANSES ; 2019
36. IARC. Silica, Some Silicates, Coal Dust and para-Aramid Fibrils. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 68. Lyon: IARC; 1997

37. IARC. Solar and ultraviolet radiation. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 55. Lyon: IARC; 1992
38. MASSIN N et al. Symptômes, anomalies fonctionnelles respiratoires et évaluation de l'exposition aux poussières silicogènes chez les maçons fumistes. Archives des maladies professionnelles et de médecine du travail. Volume 58, no 6, 1997, p. 499-505.
39. INRS. Bruit. Dossier Bruit. Disponible sur <https://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html>. Consulté le 20/02/2021
40. Ministère du travail. Exposition au risques professionnels. Enquête SUMER 2010
41. VIGNERON C et al. Travail, chaleur, coeur chez les maçons fumistes. Archives des maladies professionnelles et de médecine du travail Volume 23, no 2, 1996, p. 78-90.
42. INRS. Vibration. Dossier Vibration. Disponible sur <https://www.inrs.fr/risques/vibrations/ce-qu-il-faut-retenir.html>. Consulté le 20/02/2021
43. Forsapre. Vibration main bras. Fiche FAN. Forsapre ; 2021. Disponible sur [https://www.forsapre.fr/fiches\\_fan/vibrations-main-bras](https://www.forsapre.fr/fiches_fan/vibrations-main-bras). Consulté le 06/02/2021
44. INRS. Trouble musculosquelettiques (TMS). Dossier TMS. Disponible sur <https://www.inrs.fr/risques/tms-troubles-musculosquelettiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>. Consulté le 07/02/2021
45. Assurance maladie. Rapport annuel 2019. L'assurance maladie- risques professionnels. Paris ; 2020.
46. Maître A, Barbeau D, Persoons R. surveillance de l'exposition des populations aux agents chimiques cancérigènes en milieu professionnel et environnemental : exemple des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Environ Risque Sante ; 13 : 325 :30
47. INRS. Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Fiche du guide Biotox. Paris : INRS ; 2019.
48. Jongeneelen FJ, Anzion RB, Leijdekkers CM, Bos RP, Henderson PT. 1-hydroxypyrene in human urine after exposure to coal tar and a coal tar derived product. Int Arch Occup Environ Health. 1985;57 :47-55.
49. Jongeneelen FJ. Benchmark guideline for urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. Ann Occup Hyg. 2001;45 :3-13
50. Catherine G, Lafontaine M, Morele Y, Payan JP, Patrice S. Relationship Between Urinary Levels of 1-Hydroxypyrene and 3-Hydroxybenzo[ a ]pyrene for Workers Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Compounds Volume 22, no 3-4, 2002,
51. Marie-Desvergne C, Maître A, Bouchard M et al. (2010) Evaluation of DNA adducts, DNA and RNA oxidative lesions, and 3-hydroxybenzo(a)pyrene as biomarkers of DNA damage in lung following intravenous injection of the parent compound in rats. Chem Res Toxicol; 23: 1207–14.
52. Lafontaine M, Gendre C, Delsaut P et al. (2004) Urinary 3-hydroxybenzo[a]pyrene as a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: an approach for determining a biological limit value. Polycyclic Aromatic Compounds; 24: 441–50.
53. Maître, Anne, Petit P, Marques M, Hervé C, Montlevier S, Persoons R, J Bicout D. Exporisq-HAP Database: 20 Years of Monitoring French Occupational Exposure to Polycyclic

Aromatic Hydrocarbon Mixtures and Identification of Exposure Determinants. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 221, no 2, mars 2018, p. 334-46.

54. Barbeau D, Maître A, Marques M. (2011) Highly sensitive routine method for urinary 3-hydroxybenzo[a]pyrene quantitation using liquid chromatography-fluorescence detection and automated off-line solid phase extraction. *Analyst*; 136:1183–91.

55. Jongeneelen FJ. A guidance value of 1-hydroxypyrene in urine in view of acceptable occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicol Lett.* 2014; 231 (2): 239-48

56. Lafontaine M, Champmartin C, Simon P, Delsaut P, Funck-Brentano C. 3-Hydroxybenzo[a]Pyrene in the Urine of Smokers and Non-Smokers . *Toxicology Letters*, vol. 162, no 2-3, avril 2006, p. 181-85

57. Bartolomé M et al. « Urinary Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Metabolites Levels in a Representative Sample of the Spanish Adult Population: The BIOAMBIENT.ES Project ». *Chemosphere*, vol. 135, septembre 2015, p. 436-46

58. Pavanello S, Favretto D, Brugnone F, Mastrangelo G, Dal Pra G, Clonfero E. HPLC/fluorescence determination of anti-BPDE-DNA adducts in mononuclear white blood cells from PAH-exposed humans. *Carcinogenesis*. 1999;20(3):431-5.

59. Tjoe Ny E, Heederik D, Kromhout H, Jongeneelen FJ. The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons in air and in urine of workers in a Söderberg Potroom. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1993;54(6):277-84.

60. Saint-Amour M, Tremblay C, Jacques L, Weber J-P. Surveillance biologique de l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques chez des personnes vivant aux environs d'une aluminerie québécoise *Rev Epidémiol Santé Publique.* 2000;48 (5) : 439-48.

61. Gilbert NL, Viau C. Biological monitoring of environmental exposure to PAHs in the vicinity of a Soderberg aluminium reduction plant. *Occup Environ Med.* 1997;54(8):619-21.

62. Bouchard M, Normandin L, Gagnon F, Viau C, Dumas P, Gaudreau E, et al. Repeated measures of validated and novel biomarkers of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in individuals living near an aluminum plant in Quebec, Canada. *J Toxicol Environ Health A.* 2009;72(23):1534-49.

63. Marie C, Ravanat JL, Badouard C, Marques M, Balducci F, Maître A. Urinary Levels of Oxidative DNA and RNA Damage among Workers Exposed to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Silicon Production: Comparison with 1-Hydroxypyrene. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, vol. 50, no 2, mars 2009, p. 88-95.

64. Förster, K, Preuss R, Rossbach B, Brüning T, Angerer J, Simon P. 3-Hydroxybenzo[a]Pyrene in the Urine of Workers with Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Industries. *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 65, no 4, avril 2008, p. 224-29.

65. Hery, Michel. « Besoins de recherche en santé au travail pour les salariés d'entreprises de sous-traitance interne ». *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, no 4-1, mai 2002.

66. Aptel M, Bonnetterre V, De Gaudmaris R, Paris C, Lasfargues G, Chamoux A et les 32 CCPP. Le réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles

(RNV3P) : un réseau pérenne d'expert au service de la santé au travail. Dossier médico-technique TC132. Document pour le médecin du travail n 122. INRS ; 2010

67. ANSES. Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) ; 2021. Disponible sur <https://www.anses.fr/fr/content/réseau-national-de-vigilance-et-de-prévention-des-pathologies-professionnelles-rnv3p>. Consulté le 25/06/2021.

68. ANSES. Rapport d'activité 2018-2019 Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles. Maisons-Alfort ; 2019

69. ANSES. Description par type de cancer des situations professionnelles à risque : synthèse des données du réseau rnv3p. Rapport scientifique. Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles ; Novembre 2018.

70. INRS. Maçon fumiste. Fiche d'aide au repérage 10. Paris : INRS ; 2015.

71. DELAUNAY M. Approche géographique appliquée au Réseau National de Vigilance et de Prévention des Pathologies Professionnelles (RNV3P). Géographie. Thèse de sciences, Spécialité : Modèles, Méthodes et Algorithmes pour la Biologie, la Santé et l'Environnement. Université Grenoble Alpes, 2015.

72. LAINE P. Petites entreprises : quelles solutions pour la prévention des risques ? Dossier. Hygiène et sécurité du travail. 2014;(233):21-42

## TITRE : LES MAÇONS FUMISTES : EXPOSITION AUX HYDROCARBURES AROMATIQUES DANS DIFFERENTS SECTEURS DE LA METALLURGIE ET RISQUES SANITAIRES

### Résumé :

Introduction : Le maçon fumiste, métier d'hyper spécialisation en maçonnerie, approvisionne, met en œuvre, répare ou démolit les revêtements réfractaires et isolants d'ouvrages soumis à de très hautes températures. Les études sur les maçons fumistes sont aujourd'hui très rares, et les risques associés à leurs activités mal décrits, aussi bien en termes d'exposition aux HAP que de risques sanitaires plus globaux. L'objectif de ce travail était dans un premier temps d'évaluer les niveaux d'exposition aux HAP des maçons fumistes du secteur de la métallurgie, puis de recenser les pathologies professionnelles rapportées en France.

Matériel et méthode : Afin d'évaluer l'exposition aux HAP, étaient inclus dans l'étude les maçons fumistes ayant bénéficié d'une campagne de surveillance biologique des expositions professionnelles au sein de leur entreprise entre 2000 et 2021. Les sujets avaient au préalable donné leur consentement afin que les résultats de leurs prélèvements biologiques puissent être enregistrés dans la base de données Exporisq. Les niveaux urinaires de 1-OHP et de 3-OHBaP enregistrés dans cette base ont été analysés afin de déterminer les niveaux d'exposition des maçons fumistes.

Une extraction des données sur les effets sanitaires collectés chez les maçons fumistes dans la base de données RNV3P sur une période allant de 2001 à 2020 a été réalisée pour les secteurs de la métallurgie, de la fabrication de fours et des autres travaux de construction spécialisés.

Résultats / Discussion : Pour l'analyse de l'exposition aux HAP, 422 sujets ont été inclus dans l'étude pour un total de 1123 échantillons urinaires prélevés à différents moments de la semaine de travail. Les sujets se répartissaient en 3 secteurs : la production d'aluminium, la production de silicium et les autres secteurs de la métallurgie. Les niveaux urinaires de 1-OHP, tous moments de prélèvement confondus, étaient globalement plus élevés dans le secteur de la production d'aluminium et plus bas dans celui des autres secteurs de la métallurgie. En revanche, pour les niveaux de 3-OHBaP, aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les secteurs. Les niveaux les plus élevés étaient retrouvés sur des prélèvements urinaires d'avant 2016 pour les 2 biomarqueurs. Les niveaux étaient globalement plus bas que ceux rapportés dans la littérature, probablement du fait d'une baisse réelle des expositions avec la modernisation des matériaux employés (diminution ou disparition des HAP contenus dans les liants) ainsi que du port masques respiratoires adaptés. En effet, seuls 5% des sujets ne portaient pas de masques et parmi les maçons portant un masque, 99% portaient un masque avec filtre à particules.

Dans la base RNV3P, 178 pathologies en relation avec le travail ont été trouvées selon les critères définis. Deux familles de pathologies principales ressortent de cette étude : les maladies de l'appareil respiratoire (plaques pleurales) et des tumeurs (cancer broncho-pulmonaire). La nuisance principale identifiée est majoritairement l'amiante pour chacun de ces deux groupes de pathologies, viennent ensuite l'exposition à la silice et aux HAP.

Conclusion : Nos résultats montrent une diminution de l'exposition aux HAP au cours des 20 dernières années chez les maçons fumistes. Mais l'exposition existe encore pour certaines activités soulignant le rôle important du médecin du travail dans la mise en place de moyens de prévention adaptés et d'une surveillance biologique des expositions. Si les maçons fumistes étaient dans le passé fortement exposés aux HAP, ils étaient également exposés à l'amiante qui représente une source importante de sinistralité dans ce corps de métier.