

Caractérisation de l'exposition aux fumées de soudage en atelier, dans le secteur du BTP

Roger Fassi, Jacques Catani, Gwnaëlle Iarmarcovai

A Pittilloni, B Vigneron, L Fina, P Mardelle, J Talmon, I Sari-Minodier, F Chaspoul, C Botta, J Pompili, M de Meo, T Orsière, JL Bergé-Lefranc, P Gallice, A Botta

Résumé

Une large action a été menée dans les Alpes Maritimes auprès de l'ensemble des ateliers de métallerie-serrurerie afin de caractériser l'exposition aux métaux contenus dans les fumées de soudage et de formuler des propositions de prévention technique et médicale. L'interrogatoire professionnel et les examens médicaux conduits par les médecins du travail ont permis de dresser un descriptif de l'activité des soudeurs et de leur état clinique, notamment respiratoire. Les dosages atmosphériques pratiqués ont montré des dépassements fréquents des valeurs limites d'exposition professionnelle dont certaines (fumées de soudage, plomb, sels de cadmium, de cobalt ou de zinc) concernent des substances classées cancérogènes soit par le CIRC, soit par l'Union Européenne. L'approche biologique mettant en œuvre biométrie et tests de génotoxicité (tests des comètes et des micronoyaux sur lymphocytes) a révélé des concentrations urinaires et/ou sanguines en métaux et des altérations du matériel génétique plus importantes chez les soudeurs que chez les témoins.

I. Introduction

Les fumées de soudage ont une composition complexe, variable selon la nature des métaux et les procédés employés. Ces fumées sont classées 2B, cancérogènes possibles pour l'homme, par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Parmi leurs constituants, certains métaux, ou leurs composés, sont Cancérogènes, Mutagènes ou Reprotoxiques (CMR) dans la classification réglementaire européenne. Les médecins du travail de l'APAMETRA BTP des Alpes Maritimes, en association avec l'OPPBTBTP et la DDTE-FP, ont initié en 2001 une large action départementale concernant cette problématique des fumées de soudage dans les ateliers de serrurerie-métallerie. Les objectifs étaient de caractériser les expositions et de proposer des mesures de prévention technique et médicale.

En premier lieu, une cartographie des ateliers a été établie, basée sur les techniques de soudage utilisées et les moyens de prévention existants, ce qui a permis de motiver la mise en place de systèmes d'aspiration des fumées dans de nombreux ateliers. Parallèlement, les médecins ont conduit une étude clinique auprès des soudeurs à l'occasion de la visite systématique, comportant notamment la recherche d'une atteinte respiratoire. Outre l'étude des postes de travail, la caractérisation de l'exposition s'est basée sur la métrologie atmosphérique effectuée par le laboratoire de prévention de la CRAM Sud-Est dans plusieurs ateliers représentatifs.

Enfin, cette caractérisation s'est poursuivie par une approche biologique, développée par le Laboratoire de Biogénotoxicologie et Mutagenèse Environnementale (CHU de Marseille) avec le soutien financier de la DRTE-FP. Cette biosurveillance s'est basée sur des biomarqueurs d'exposition (dosages de 8 métaux dans le sang et l'urine en début et fin de semaine : plomb Pb, cadmium Cd, nickel Ni, chrome Cr, zinc Zn, manganèse Mn, cobalt Co et aluminium Al) et des biomarqueurs d'effet génotoxique, mis en œuvre chez des soudeurs comparativement à des témoins non exposés professionnellement. Deux tests de génotoxicité complémentaires ont ainsi été pratiqués sur les lymphocytes périphériques : le test des comètes (en début et fin de semaine) détectant des lésions primaires de l'ADN, c'est-à-dire des lésions susceptibles d'être réversibles sous l'effet des systèmes de réparation, et le test des micronoyaux sur lymphocytes révélant des remaniements chromosomiques de structure ou de nombre.

Adresse de correspondance et demande de tirés-à-part

Dr. Roger Fassi
APAMETRA-BTP
6 rue du Dr. Pierre Richelmi
06300 Nice
Tél. 04 92 00 38 40 / Fax
E-mail <r.fassi@apametra.org

II. Étude descriptive médico-professionnelle

1. Méthodologie

L'étude a été menée selon un protocole validé par l'ensemble des médecins du service, basé sur un questionnaire, sur un examen clinique et sur des examens complémentaires (spirométries, radiographies thoraciques et bandelettes urinaires).

2. Description de la population des soudeurs

La population est composée de 179 soudeurs en ateliers de serrurerie-métallerie et de mécanique TP, répartis dans 65 entreprises. La moitié des soudeurs travaille dans des entreprises de moins de 10 salariés. Les 2/3 d'entre eux ont plus de 10 ans d'ancienneté. Les nouveaux venus dans la profession sont nombreux (24%), mais il ne s'agit pas forcément de jeunes de moins de 20 ans, ces derniers ne représentant que 4% des salariés. Les tranches d'âge entre 20 et 60 ans sont représentées de façon équivalente ; la moitié des salariés a plus de 40 ans.

2.1. L'activité

L'activité de soudure en métallerie-serrurerie bâtiment n'est pas continue, le temps de soudage est en moyenne de 12 heures par semaine : les salariés sont assez largement occupés, soit à d'autres tâches moins polluantes chimiquement (préparation, pointage, découpe, pliage, transfert de pièces de poids important...), soit à d'autres sources de pollution chimique différentes de celle recherchée, comme la mise en peinture de pièces métalliques.

Le soudage à l'arc est la principale technique utilisée, pratiquée par tous les soudeurs : le soudage à électrode enrobée (142 soudeurs) et le soudage sous protection gazeuse MIG-MAG (154 soudeurs) représentent les deux techniques principalement rencontrées.

2.2. Les métaux travaillés

L'acier représente 85% des métaux travaillés, l'acier galvanisé 11%, l'acier inoxydable 3% et l'aluminium seulement 1%. Alliage de fer et de carbone, l'acier noir est largement utilisé dans les ateliers puisque tous les soudeurs le travaillent (23% des salariés ne travaillent que de l'acier noir, 40% l'utilisent à plus de 90%). L'acier galvanisé est un acier recouvert d'une mince couche de zinc pour en assurer la protection contre l'oxydation (30% ne le travaillent pas et seuls 6% le travaillent à plus de 50%). Acier allié au chrome et au nickel, l'acier inoxydable est un métal peu travaillé dans ces ateliers (63% de salariés ne le travaillent pas ;

il représente 20% des métaux travaillés chez seulement 3% des salariés).

2.3. La protection respiratoire

Environ la moitié des salariés bénéficie d'une aspiration des fumées de soudage au point d'émission. Ces aspirations datent de moins de deux ans pour 80% d'entre elles ; leur installation récente est liée à l'action départementale pluridisciplinaire engagée en 2001. Notons que ce sont les entreprises de 5 à 9 salariés qui sont le mieux équipées en système d'aspiration (60% d'entre elles).

La torche aspirante, se déclenchant automatiquement sans intervention de l'opérateur, est de fait obligatoirement utilisée ; toutefois, ce système idéal est limité au procédé de soudure MIG-MAG ; 13 soudeurs en sont équipés. Le bras d'aspiration, nécessitant l'intervention répétée de l'opérateur pour être placé au plus près du point d'émission des fumées, n'est pas systématiquement utilisé. Parmi les 47 soudeurs en bénéficiant, 40 déclarent l'utiliser. L'aspiration mobile, dont le déplacement est contraignant et qui est un système basé sur le recyclage de l'air, est essentiellement utilisée dans les ateliers de mécanique TP : 11 soudeurs sur 19 déclarent l'utiliser.

Par ailleurs, certains soudeurs sont équipés d'un masque à ventilation assistée, protection individuelle permettant une grande mobilité mais relativement contraignante : 5 soudeurs sur les 6 équipés déclarent toutefois l'utiliser.

Soulignons que si ces protections ne sont pas systématiquement utilisées, 94% des salariés qui en bénéficient se déclarent satisfaits.

3. Résultats de l'étude clinique

Parmi les 179 soudeurs ayant fait l'objet de l'étude, 11% ont déclaré des antécédents de pathologie respiratoire (asthme, atopie, tuberculose, pneumothorax, fièvre des fondeurs). Le tabagisme est fréquent, puisque si 22% d'entre eux ont cessé de fumer, 42% restent fumeurs. L'interrogatoire retrouve toux, expectoration, dyspnée entre 8 et 13% des cas. L'auscultation pulmonaire est normale dans 94% des cas.

L'examen spirométrique est anormal dans 23 cas sur 156 (15%) : 10 troubles ventilatoires obstructifs, 10 syndromes des petites voies aériennes et 3 troubles ventilatoires restrictifs. Sur 152 radiographies thoraciques pratiquées, 15 (10%) se sont révélées anormales.

L'analyse urinaire par bandelettes Multistix est anormale dans 22 cas sur 142 (15%), les

anomalies à l'état de traces n'ont pas été retenues : 13 protéinuries isolées, 5 hématuries isolées et 4 hématuries associées à une protéinurie.

Nous avons poursuivi l'étude par une analyse de type cas-témoins dans la population de soudeurs ayant bénéficié de toutes les investigations respiratoires en incluant également ceux pour lesquels la spirométrie n'est pas disponible mais qui présentent une symptomatologie respiratoire. Est considéré comme "cas" tout soudeur ayant une symptomatologie respiratoire (toux, expectoration, dyspnée, auscultation anormale) et/ou une radiographie pulmonaire anormale et/ou des spirométries perturbées (45 "cas" soit 27,8%), et comme "témoin", tout soudeur ne présentant aucun des signes précédents (117 "témoins" soit 72,2%). Plusieurs catégories de facteurs susceptibles de jouer un rôle dans la survenue d'une symptomatologie respiratoire ont été différenciés : facteurs liés à l'entreprise (taille, type de soudage, type de métaux), protections utilisées (individuelles et collectives), antécédents professionnels (ancienneté, temps de soudage par semaine), tabagisme, âge, antécédents médicaux.

L'analyse univariée montre une différence significative entre les "cas" et les "témoins" en ce qui concerne : la taille de l'entreprise ($p=0,02$), les soudeurs symptomatiques travaillant dans des entreprises de plus de 10 salariés ; la consommation de tabac ($p=0,002$), les soudeurs symptomatiques ayant une consommation plus importante (≥ 20 PA) ; la protection individuelle ($p=0,05$), le fait de bénéficier d'une protection individuelle contre les fumées de soudage apparaissant comme un facteur protecteur vis à vis des troubles respiratoires. Mais en analyse multivariée (par régression logistique multiple), le tabac reste le seul facteur significatif ($p=0,01$).

III. Évaluation des risques chimiques par la métrologie atmosphérique

1. Introduction

Lors des opérations de soudage, il se dégage des fumées qui sont composées de gaz et de poussières métalliques :

les gaz protecteurs : gaz carbonique, argon ;

les gaz émis (monoxyde de carbone, ozone) ou issus de la dégradation thermique des solvants ou peintures (acide chlorhydrique, acide cyanhydrique, phosgène). Il est difficile de quantifier ces derniers car ils sont émis en très faible quantité ;

les poussières métalliques sont multiples et sont liées à la nature de la baguette ou de l'électrode

utilisée et du matériau travaillé. Parmi les plus fréquemment rencontrés, nous pouvons citer le Mn, le fer Fe et le Cd pour les aciers ; le Zn pour l'acier galvanisé ; le Cr VI et le Ni pour les aciers inoxydables.

Dans cette étude centrée sur le risque cancérigène lié aux fumées de soudage, nous avons exclusivement recherché les poussières métalliques (Fe, Al, Mn, Ni, Cr, Zn, Pb, sélénium Se, Co, cuivre Cu, étain Sn, titane Ti, molybdène Mo, tungstène W). L'action de la CRAM-SE a été conduite dans 40 ateliers et a donné lieu à 70 prélèvements d'atmosphère dont la plupart concernait des mesures d'exposition individuelles.

2. Conditions des interventions et modes opératoires

Les faibles durées du temps de soudage rencontrées dans les ateliers ont rendu le travail de prélèvement atmosphérique long et nécessairement précédé d'études de poste de travail approfondies. De nombreuses interventions n'ont d'ailleurs pu produire qu'un seul prélèvement durant de très faibles durées.

La méthode de prélèvement et de dosage utilisée est une méthode développée par les laboratoires interrégionaux de chimie des CRAM et l'INRS. L'ensemble des méthodes est regroupé sur le site www.inrs.fr sous le terme METROPOL (métrologie des polluants).

Compte tenu des contraintes liées au fondement de l'activité, les durées de prélèvement ont varié de 30 minutes à 2 heures dans plus de 90% des cas. Les valeurs mesurées ne sont donc théoriquement pas comparables aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) de courte durée (15 mn) ou de longue durée (8 h). Néanmoins, nous avons pris le parti de les comparer aux VLEP sur 8 heures car les prélèvements ont porté sur des périodes totalement représentatives d'une activité journalière.

Par ailleurs, la présence parmi les métaux de composés CMR, comme le Pb ou le Cd, de catégorie 1 ou 2, nous a incité à choisir les conditions de mesurage de l'exposition les plus sévères.

3. Résultats

Sur les 70 prélèvements atmosphériques, 41% concernent des postes de travail équipés de système d'aspiration locale, 50% des postes non équipés et 9% ont été réalisés en extérieur (chantier ou travail sur ferrailage extérieur) avec des conditions climatiques acceptables (vent nul, humidité très faible).

Les résultats sont présentés dans le tableau 1. Il convient de noter que celui-ci ne présente que les résultats globaux des prélèvements exprimés en fumées de soudage, incluant les concentrations mesurées dans certaines situations des principaux métaux mis en évidence dont certains dérivés sont cancérigènes ou toxiques. Les seules "poussières métalliques" CMR sont le Pb

(Reprotoxique de catégorie 1) et le Ni (Cancérigène de catégorie 3). Pour tous les autres métaux, ce sont certains de leurs sels qui sont classés CMR à l'exception du Se qui est classé Toxique (T). Il convient de remarquer que la méthode utilisée pour le dosage des métaux ne permet pas de déterminer la nature des sels présents.

Tableau 1 : Résultats de la métrologie atmosphérique

Polluants détectés (Nombre de résultats quantifiés) ¹	Fumées (70)	Fe (62)	Zn (11)	Ni (3)	Cd (17)	Pb (13)	Se (3)	Co (10)	Cr (13)
Valeur limite d'exposition professionnelle	5 mg/m ³	5 mg/m ³	1 mg/m ³	1 mg/m ³	50 µg/m ³	100 µg/m ³	0,2 mg/m ³	20 µg/m ³	50 µg/m ³
Concentration moyenne	4,78	1,68	1,05	0,07	70	580	0,15	9,39	9,19
Centiles									
25	1,97	0,35	0,04	-	10	40	-	2,05	4,00
50	3,10	0,88	0,12	-	60	320	-	2,35	5,20
75	5,77	2,07	0,97	-	110	660	-	4,70	7,00
90	8,81	3,65	2,13	-	120	1320	-	13,70	9,60
95	11,96	4,44	4,57	-	160	1940	-	39,35	27,20
Concentrations moyennes Avec aspiration (29) ²	3,26	1,13	0,04	-	50	420	-	3,70	7,67
Sans aspiration (35)	5,27	1,56	1,27	-	100	90	-	36,50	11,50
AEEE3 (29)	4,75	2,10	1,52	-	30	670	-	3,73	16,06
MIG/MAG (42)	4,57	1,48	1,78	-	80	470	-	13,17	5,47
Acier noir (49)	3,99	1,39	0,05	-	100	280	-	9,83	5,54
Acier galvanisé (12)	5,71	1,25	2,83	-	40	NS4	-	NS	NS
Dépassement des VLEP sur l'ensemble des mesures	31%	4,3%	4,3%	-	13%	11%	-	1,4%	1,4%
Dépassement des VLEP uniquement sur les métaux quantifiés	31%	4,8%	27%	-	53%	62%	-	10%	7,7%

1 Les résultats de métaux inférieurs aux seuils de détection ne sont pas exploités.

2 Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de résultats exploités

3 Arc Electrique avec Electrode Enrobée

4 Non significatif : aucun résultat supérieur au seuil de détection

4. discussion

Les résultats montrent des dépassements assez fréquents des VLEP : 31% pour les fumées de soudage. Dans plus de 50% des cas où ils ont été détectés, le Pb et le Cd dépassent leurs valeurs limites respectives.

Les concentrations en fumées de soudage mesurées ne varient que très peu en fonction de la technique de soudage utilisée ou du métal travaillé. La composition de ces fumées est par contre très liée au métal puisque les soudures sur l'acier galvanisé dégagent quasi exclusivement des poussières de Zn alors que pour le travail sur acier les moyennes de concentration en Pb et Cd dépassent largement les VLEP.

De la même manière, la différence des concentrations de fumées entre les ateliers équipés d'une aspiration locale (torche ou bras aspirant) et ceux non équipés est réelle mais peu satisfaisante (3,26 vs 5,27 mg/m³). Les 3

résultats les plus élevés sont obtenus pour des postes de travail équipés de bras aspirant ; ces résultats n'ont pas été toutefois retenus dans les calculs car contestés par l'entreprise, ce qui relativise l'écart observé sur le tableau 1. L'explication peut se trouver dans la mauvaise utilisation observée de ces équipements de protection collective. Cela nous incite à proposer que l'utilisation de cette mesure de prévention collective soit nécessairement accompagnée d'une formation adaptée. Les aspirations mobiles présentent la même difficulté d'utilisation avec le risque supplémentaire de dégagement de polluants chimiques dans l'atmosphère de travail lié au recyclage de l'air après filtration. La CRAM déconseille totalement ce genre d'équipement qu'elle refuse d'ailleurs de financer dans le cadre des contrats de prévention. Elle oriente les entreprises vers des captages localisés : torches aspirantes ou système d'aspiration fixe (table, panneau, dossier) situé face au soudeur avec rejet des polluants à l'extérieur après filtration.

La comparaison de ces résultats avec ceux contenus dans la base de données nationale COLCHIC (COLlecte des données des Laboratoires de CHIMie des Cram) regroupant plus de 2000 situations de travail similaires est présentée sur le poster. Elle montre une pollution due aux fumées de soudage moins importante dans les ateliers de métallerie que dans une population de soudeurs chaudronniers, à l'exception notable des concentrations en Pb et Cd. Ces observations nous ont conduits à rechercher l'origine du Pb atmosphérique présent à des concentrations largement supérieures aux VLEP. Une analyse chimique de 60 échantillons de matériaux utilisés dans les entreprises concernées a donné des résultats totalement exempts de Pb à l'exception des matériaux recouverts de peinture. L'analyse chimique de ces peintures « grattées » sur des échantillons de pièces métalliques a en effet donné des résultats allant jusqu'à 6% de teneur en Pb (m/m) ; cette donnée est confirmée par les formulations de certaines peintures anti-rouille qui contiennent jusqu'à 2,5% de Pb en phase solvant.

Afin de quantifier l'exposition des soudeurs en atelier de métallerie, la mesure unique des fumées de soudage, réalisée par gravimétrie, sans détailler les métaux donne une approche correcte de l'exposition des salariés, la totalité

des dépassements de VLEP pour les métaux s'accompagnant de valeurs excessives pour les fumées de soudage. Toutefois, dans cette activité spécifique où l'on a vu des concentrations en Pb et Cd supérieures à celles observées généralement chez les soudeurs, le dosage de ces 2 métaux classés CMR est obligatoire. Il est alors nécessaire de mettre en œuvre une technique analytique beaucoup plus lourde et onéreuse telle que l'absorption atomique ou la torche à plasma.

IV. Biométrie et Biogéotoxicologie

1. Matériels et Méthodes

1.1. Populations

La population exposée est constituée de 60 soudeurs en atelier dans le secteur du BTP (53 en métallerie et 7 en mécanique BTP) répartis sur 36 ateliers équipés ou non de système d'aspiration des fumées de soudage. Les soudeurs sont ainsi répartis en 2 groupes : groupe 1 (27 soudeurs travaillant dans des ateliers non équipés de système d'aspiration) et groupe 2 (33 soudeurs avec système d'aspiration présent dans l'atelier sans préjuger de son usage effectif ou de sa bonne utilisation). Ils ont été inclus sur la base des critères suivants : au minimum 2h de soudage en atelier par jour, ancienneté d'au moins 3 ans, travail durant le mois précédent, consentement pour participer à l'étude.

La population témoin est composée de 30 sujets non exposés professionnellement (ni actuellement, ni dans le passé) aux fumées de soudage ou à des agents potentiellement CMR. Elle est appariée à la population de soudeurs du groupe 1 selon les critères de sexe, âge (± 2 ans) et tabagisme. Pour les soudeurs du groupe 1 et les témoins, en raison des tests de génotoxicité prévus, des critères d'exclusion ont été définis : antécédents de chimiothérapie et/ou radiothérapie, traitements en cours à base de médicaments connus pour être mutagènes et/ou toxiques pour la reproduction.

L'inclusion des sujets exposés et témoins a été conduite par les médecins du travail après information sur les modalités de l'étude et recueil du consentement éclairé par écrit.

1.2. Méthodologie

Le protocole de l'étude a été rédigé après concertation avec les médecins du travail investigateurs et a reçu l'avis favorable du

Comité Consultatif de Protection des Personnes dans la Recherche Biomédicale (CCPPRB) de Marseille 2.

1.2.1. Questionnaires

Un questionnaire médico-professionnel comportait des renseignements sur l'histoire médicale du sujet, ses habitudes de vie et des données sur l'exposition professionnelle. Un autoquestionnaire complémentaire documentait les expositions durant la semaine de l'étude.

1.2.2. Prélèvements biologiques

En suivant des précautions particulières (douche, vêtement différent de celui du travail), les prélèvements ont été faits en dehors des locaux de travail sur une semaine selon la chronologie suivante :

le lundi matin, avant la prise de poste, sang et urines pour le dosage des métaux (témoins, groupes 1 et 2) ; sang pour les tests des comètes et des micronoyaux (témoins et groupe 1) ;

le jeudi soir, en fin de poste, urines pour le dosage des métaux (groupes 1 et 2) ;

le vendredi matin, avant la prise de poste, sang pour le dosage des métaux (groupes 1 et 2) et pour le test des comètes (groupe 1).

1.2.3. Biométrie

La concentration en métaux dans le sang total et les urines a été déterminée par ICP-MS. Le principe de cette méthode repose sur l'acidification de l'échantillon biologique suivi de sa nébulisation dans un plasma dont la température est de 8000 K. Les ions métalliques formés sont détectés par spectrométrie de masse. La haute sensibilité de cette technique la rend parfaitement adaptée au dosage des métaux à l'état de traces. Les 8 métaux dosés dans cette étude sont : Pb, Cd, Ni, Cr, Zn, Mn, Co, Al.

1.2.4. Biogénotoxicologie

• Test des comètes

Le test des comètes est une technique microélectrophorétique rapide et sensible qui permet de visualiser les lésions primaires de

l'ADN. Du fait de sa sensibilité, les prélèvements sanguins devaient avoir lieu le matin, avant la prise de poste, pour s'affranchir du stress oxydatif lié à l'activité physique. Après traitement et lyse des cellules, une courte électrophorèse suivie d'une coloration fait apparaître l'ADN d'une cellule intacte sous la forme d'une sphère alors que l'ADN d'une cellule lésée a un aspect « en comètes ». Pour chaque individu, les résultats sont exprimés à l'aide d'un paramètre unique (OTM χ 2) tenant compte notamment de la quantité d'ADN contenue dans la queue de la comète.

• Test des micronoyaux

Le test des micronoyaux consiste à dénombrer, au sein des cellules en interphase, les micronoyaux (MN), qui sont des entités nucléaires indépendantes du noyau principal constituées soit de chromosomes entiers, soit de fragments chromosomiques acentriques. Nous avons réalisé ce test sur des lymphocytes mis en culture avec blocage de la cytotidérèse, d'où l'obtention de lymphocytes binucléés. Pour chaque individu, les résultats sont exprimés en taux de lymphocytes binucléés micronucléés.

1.2.5. Analyses statistiques

La comparaison des résultats a été réalisée par les tests non paramétriques de Mann-Whitney et de Wilcoxon respectivement pour les données non appariées et appariées (début et fin de semaine pour un même individu). Les recherches de corrélations ont été faites par le test de Spearman. Une valeur de $p < 0,05$ a été considérée comme significative.

2. Résultats

2.1. Populations

L'analyse des caractéristiques des populations des soudeurs et des témoins est résumée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques des populations

	Soudeurs Groupe 1	Soudeurs Groupe 2	Témoins
Effectif	27 Hommes	33 Hommes	30 Hommes
Age (ans)			
Moyenne \pm écart-type	43,9 \pm 12,6	44,4 \pm 7,8	43,1 \pm 11
Minimum-Maximum	20-68	31-58	20-59
Fumeurs actuels	10 (37%)	11 (33,3%)	16 (53,3%)

2.2. Biométrie. La comparaison des différents groupes entre eux ont conduit aux résultats suivants :

Soudeurs (groupes 1 et 2) vs témoins : les concentrations sanguines et urinaires de 4 métaux (Pb, Ni, Cr, Co) sont significativement plus élevées chez les soudeurs ; pour les 4 autres métaux, seules les concentrations sanguines en Cd, Mn et urinaires en Zn, Al sont plus élevées chez les soudeurs.

Soudeurs groupe 1 vs témoins : des résultats analogues à ceux de la comparaison soudeurs (groupes 1 et 2) vs témoins sont observés.

Soudeurs groupe 2 vs témoins : seuls 3 métaux (Pb, Ni, Cr) sont significativement plus élevés à la fois au niveau sanguin et urinaire chez les soudeurs du groupe 2, alors que Cd et Co sont plus élevés seulement au niveau sanguin et Zn au niveau urinaire.

Soudeurs groupe 1 vs soudeurs groupe 2 (résultats de début de semaine) : les concentrations sanguines en Pb, Ni, Cr, Mn et urinaires en Ni, Cr, Co du groupe 1 paraissent supérieures à celles du groupe 2 (mais différences non statistiquement significatives) ; seules les concentrations de Co sanguin, Pb et Al urinaires sont significativement plus élevées.

Soudeurs groupe 1 vs soudeurs groupe 2 (résultats de fin de semaine) : les concentrations sanguines en Pb, Ni, Cr, Co, Mn et urinaires en Pb, Cd, Co, Al du groupe 1 paraissent plus élevées que celles du groupe 2,

mais seules les concentrations urinaires en Ni et Cr le sont de façon significative.

Fin vs début de semaine pour les soudeurs : seules les concentrations urinaires présentent des différences significatives ; en fin de semaine, les concentrations urinaires de Mn pour le groupe 1, de Cr et Mn pour le groupe 2 sont plus élevées qu'en début de semaine, tandis que celles de Zn pour le groupe 1, de Zn et Ni pour le groupe 2 sont inférieures.

Le type de métal travaillé ne semble pas influencer les concentrations en métaux étudiés. Les concentrations urinaires sont inférieures chez les soudeurs bénéficiant d'une torche aspirante, bien que les différences ne soient pas significatives. Aucune influence du port d'équipements individuels de protection respiratoire sur les concentrations en métaux n'est mise en évidence. Enfin, le tabagisme n'exerce pas d'effet sur les concentrations en métaux, à l'exception classique du Cd significativement plus élevé chez les fumeurs dans tous les prélèvements.

2.3. Biogénotoxicologie

2.3.1. Test des comètes

Alors que les OTM χ^2 de la population exposée et témoin en début de semaine sont similaires, il existe une augmentation significative des OTM χ^2 en fin de semaine pour les soudeurs (tableau 3). Au total, 20 exposés sur 30 (soit 66,6%) présentent un OTM χ^2 significativement supérieur en fin de semaine par rapport au début.

Tableau 3 : Distribution des OTM χ^2 en début et fin de semaine dans les populations de soudeurs et de témoins

	Soudeurs Début de semaine	Témoins Début de semaine	Soudeurs Fin de semaine
Effectif	301	22	301
OTM χ^2			
Moyenne \pm écart-type	2,8 \pm 0,8***	2,6 \pm 0,4	4,5 \pm 1,7***
Médiane	2,5	2,4	4,5
Minimum- Maximum	2,1 - 4,3	2,1 - 3,8	2,1 - 9,2

1 26 soudeurs du groupe 1 et 4 soudeurs du groupe 2 (initialement classés par erreur dans le groupe 1)

Différence statistiquement significative entre début et fin de semaine : ***p<0,001

Des corrélations positives sont mises en évidence entre les OTM χ^2 et certaines concentrations sanguines en métaux (Pb, Zn, Al) dans la

population globale regroupant soudeurs et témoins. En ne considérant que les soudeurs en début de semaine, des corrélations positives sont retrouvées avec Pb, Al, Ni et Co ; une corrélation négative apparaît avec Mn, cette dernière étant la seule à persister en fin de semaine.

Par ailleurs, les OTM χ^2 sont corrélés d'une façon exponentielle avec l'âge (chez les

témoins seulement) ; cependant, cet effet est à relativiser en fonction de certaines corrélations métaux/âge/test des comètes. Nous ne retrouvons pas d'influence du tabagisme sur la distribution des OTM χ^2 .

2.3.2. Test des micronoyaux

Les taux de lymphocytes binucléés micronucléés (LBMN) sont significativement plus élevés dans la population de soudeurs (groupe 1) que dans la population témoin (tableau 4).

Tableau 4 : Distribution des taux de LBMN dans les populations de soudeurs et de témoins

	Soudeurs	Témoins
Effectif	27	30
Taux de LBMN (‰)		
Moyenne \pm écart-type	6,3 \pm 2,9*	4,7 \pm 1,8*
Médiane	5	5
Minimum- Maximum	3 - 16	2 - 9

Différence statistiquement significative : * $p < 0,05$

Le taux de LBMN n'est corrélé ni à l'ancienneté de l'exposition aux fumées de soudage, ni aux concentrations en métaux, ni aux résultats du test des comètes. Aucune influence de l'âge ou du tabagisme n'est mise en évidence.

3. Discussion

Chez les soudeurs, les concentrations en métaux étudiés (particulièrement en Pb, Ni, Cr, Co) sont supérieures à celles des témoins. De plus, ces concentrations apparaissent plus élevées chez les soudeurs ne bénéficiant pas de système d'aspiration par rapport aux soudeurs travaillant dans des ateliers équipés de tels systèmes, bien que le plus souvent les différences ne soient pas statistiquement significatives. Le manque de puissance statistique (faible effectif des populations étudiées), l'installation récente des systèmes d'aspiration et la cinétique lente d'élimination des métaux (toxiques cumulatifs) peuvent expliquer ce manque de significativité. Chez les soudeurs bénéficiant d'une torche aspirante, seul système d'aspiration liée à l'outil et de déclenchement automatique, les concentrations urinaires en métaux semblent moins élevées.

Le jour du prélèvement ne paraît pas avoir d'influence sur les concentrations sanguines des métaux étudiés. En revanche, des variations de concentrations urinaires entre début et fin de semaine sont notées pour certains métaux (Ni, Cr, Zn, Mn).

Les tests de génotoxicité, pratiqués chez les soudeurs ne bénéficiant pas de système d'aspiration des fumées, mettent en évidence une altération accrue du matériel génétique dans les lymphocytes de ces soudeurs comparativement aux témoins. C'est ce que révèle le test des micronoyaux, interprétable seulement au niveau collectif et identifiant des remaniements chromosomiques de nombre et/ou de structure consécutifs à des événements génotoxiques (respectivement aneugènes et/ou clastogènes) survenus dans les semaines, mois, voire années précédant le prélèvement sanguin. Il n'est donc pas étonnant de ne pas retrouver de corrélations entre l'imprégnation actuelle en métaux et le taux de lymphocytes micronucléés. De plus, les micronoyaux sont le reflet d'une génotoxicité globale et peuvent traduire les actions additives voire synergiques de divers agents génotoxiques. Quant aux lésions primaires (susceptibles d'être réparées) de l'ADN mises en évidence par le test des comètes, elles sont plus nombreuses chez les soudeurs en fin de semaine qu'en début, les 2 prélèvements ayant eu lieu le matin pour s'affranchir des lésions oxydatives liées à l'activité physique. Il semble donc que les lymphocytes des soudeurs soient davantage soumis à un stress génotoxique en période de travail du fait des expositions professionnelles. Certaines corrélations entre concentrations sanguines en métaux et test des comètes ont d'ailleurs été retrouvées mais cette génotoxicité peut aussi être consécutive au stress oxydatif lié à la charge physique du poste de travail. Pour des raisons d'acceptabilité, le protocole ne prévoyait pas de nouveau prélèvement le lundi suivant, lequel aurait peut-être permis d'observer un retour à un niveau lésionnel similaire à celui mesuré en début de semaine (chez les soudeurs et les témoins). De même, toujours pour des raisons d'acceptabilité, nous n'avons pas pratiqué de prélèvement en fin de semaine chez les témoins et il n'est donc pas possible de comparer l'augmentation des lésions primaires observée sur la semaine de l'étude chez les soudeurs à une éventuelle variation, également possible, chez les témoins.

Au total, les résultats de ces tests de génotoxicité ne peuvent en aucun cas être interprétés pour documenter l'état de santé actuel ou futur de ces individus mais ils présentent l'intérêt de pouvoir alerter le préventeur de l'existence de modifications

biologiques précoces, contemporaines de l'exposition, consécutives à des interactions avec le matériel génétique, ce qui souligne la nécessité de renforcer les mesures de prévention.

V. Conclusion générale

Cette approche multidisciplinaire visant à caractériser l'exposition aux fumées de soudage dans les ateliers du BTP a montré en premier lieu, par la métrologie atmosphérique, plusieurs dépassements des VLEP pour des métaux (ou leurs sels) classés CMR, à savoir le Pb et le Cd. Des dépassements ponctuels des VLEP ont été également constatés pour le Fe, le Co, le Cr et le Zn. La biométrie sanguine et/ou urinaire a retrouvé une imprégnation significative des soudeurs en métaux (particulièrement en Pb, Ni, Cr, Co). Les tests de génotoxicité sur lymphocytes ont mis en évidence chez les soudeurs une altération accrue du matériel génétique comparativement aux témoins et une augmentation du taux de lésions primaires de l'ADN sur la semaine de travail.

L'exposition des soudeurs du BTP à des substances CMR est donc réelle. Quelle prévention technique et quel suivi médical, pouvons-nous proposer pour ce groupe professionnel ? Les décrets CMR du 1er février 2001 et risque chimique du 23 décembre 2003 vont guider notre démarche.

• Prévention technique

L'évaluation des risques doit se baser sur :

l'étude des postes de travail avec leur importante variabilité, le type d'activité, la durée de l'exposition, les métaux travaillés, les procédés de soudage, les systèmes d'aspiration, l'application de peinture antirouille en atelier, le meulage et le soudage sur métaux anciennement peints ;

l'analyse des Fiches de Données de Sécurité pour les baguettes enrobées, les fils de soudage, les solvants et les peintures utilisés, trop souvent méconnues des entreprises ;

les métrologies atmosphériques au moins annuelles, avec dosage des fumées de soudage, du Pb et du Cd. Le Cr et le Ni seront dosés si l'acier inoxydable est habituellement travaillé.

L'employeur doit consigner les résultats de cette évaluation dans le Document Unique, établir, s'il y a lieu, une liste des salariés exposés et pour chacun d'eux une Fiche d'Exposition.

La réduction des risques doit se baser sur l'aspiration des fumées de soudage au point d'émission pour chaque poste de soudage : il faudra privilégier la torche aspirante ; le procédé de soudure sous protection gazeuse MIG-MAG, qui seul permet l'utilisation de ce système moins contraignant et plus efficace, devra être préféré, le bras d'aspiration, plus contraignant, est toutefois utilisable pour tous les procédés de soudure ; l'aspiration des fumées sera complétée par une ventilation mécanique générale de l'atelier ; le bon fonctionnement de ces systèmes devra être vérifié régulièrement ; l'emploi de peintures antirouille sans plomb ; le meulage à sec des métaux déjà peints, très souvent avec des peintures contenant du Pb, est à proscrire ; nous préconisons l'utilisation d'un décapeur thermique (avec température inférieure à 450°C) ou un décapage chimique sans dichlorométhane ; les déchets de peinture ainsi produits devront être récupérés, stockés dans des récipients spéciaux et évacués en décharges classées ; un local spécifique pour les travaux de peinture, séparé de l'atelier de soudure sera conseillé ; le nettoyage régulier des postes de travail et des ateliers.

La formation et l'information des salariés doivent comprendre : la formation à la sécurité, avec remise de la Notice de Poste comprenant : une information sur les risques potentiels pour la santé des fumées de soudage, le risque additionnel lié à la consommation de tabac, les consignes d'utilisation des équipements de protection collective (positionnement correct du bras aspirant) et individuelles (masque respiratoire type P3 pour les opérations de meulage, port systématique de gants), un rappel des règles d'hygiène avec changement quotidien des vêtements de travail, nettoyage soigneux des mains surtout après travaux sur métaux peints ; une information des salariés sur le contenu des Fiches de Données de Sécurité ; la communication des résultats des contrôles atmosphériques par l'intermédiaire du CHS-CT ou des délégués du personnel ; l'accès aux informations contenues dans la Fiche d'Exposition.

• Surveillance médicale

Pour le suivi du risque toxique lié aux fumées de soudage, nous proposons une visite médicale annuelle dans le cadre d'une surveillance médicale renforcée (SMR). La visite d'embauche comprendra un interrogatoire sur les

antécédents du sujet, l'existence de signes fonctionnels et un examen clinique complet, un examen radiographique des poumons, une spirométrie, une analyse d'urines par bandelettes. Les examens ultérieurs s'attacheront à dépister en particulier toute atteinte pulmonaire et rénale par l'interrogatoire et l'examen clinique. La périodicité de la spirométrie et de la radiographie pulmonaire s'appréciera en fonction de l'intensité de l'exposition et de son ancienneté. La recherche d'une protéinurie totale et d'une hématurie par bandelette sera systématique. Devant toute anomalie, il faudra savoir poursuivre les investigations pour ces salariés exposés à des métaux néphrotoxiques. Enfin, même si les aciers inoxydables sont peu utilisés dans les ateliers du BTP, une attention sera portée sur la sphère ORL.

Selon les résultats de l'évaluation des risques, basée notamment sur la métrologie atmosphérique, d'autres examens pourront être proposés : les dosages du Pb sanguin et du Cd sanguin et urinaire paraissent indiqués, au vu des résultats de notre étude. La variabilité des expositions pour les soudeurs en serrurerie-métallerie n'exclut pas la surveillance biologique pour d'autres métaux tels que le Cr, le Ni, le Co. Cette évaluation des risques conditionnera aussi la délivrance de l'attestation d'exposition et la surveillance post professionnelle.

Bibliographie

1. Danadevi K., Rozati R., Banu B.S., Grover P. Genotoxic evaluation of welders occupationally exposed to chromium and nickel using the Comet and micronucleus assays. *Mutagenesis*, 2004, 19(1) : 35-41.
2. INRS (1998) Fiche toxicologique n° 59 : Plomb et composés minéraux
3. INRS (1997) Fiche toxicologique n° 60 : Cadmium et composés minéraux
4. INRS (1992) Fiche toxicologique n° 68 : Nickel et composés minéraux
5. INRS (2002) Fiche toxicologique n° 75 : Zinc et composés minéraux
6. INRS (2000) Fiche toxicologique n° 128 : Cobalt et composés minéraux
7. INRS (1987) Guide pratique de ventilation - Opérations de soudage à l'arc - ED 668
8. INRS (2002) Biotox : Inventaire des laboratoires effectuant des dosages biologiques de toxiques industriels - ED 791, 200 p. Disponible sur le site <http://www.inrs.fr/>
9. INRS (2002) Produits cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction. Classification réglementaire - ND 2168, 56p. Disponible sur les sites <http://www.inrs.fr/> ou <http://ecb.jrc.it/>
10. CIRC (1990) IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Chromium, nickel and welding. IARC 49 : 667p.
11. Testud F. Pathologie toxique en milieu de travail, édition ESKA, 1998

Ont également participé à l'étude les Drs Martine Braunstein, Jean-François Canonne, Christian Expert, Françoise Loesche, Iona Orst, Martine Pelsler, Virginie Vandomme, Bernard Salengro.