

Université de Montréal

**Risque de cancer du poumon associé aux expositions
environnementales de fumées de soudage : 2 études cas-
témoins basées sur la population montréalaise.**

par

Eric Vallières

Département de sciences biomédicales

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de M.Sc.

en Sciences biomédicales

option Recherche clinique biomédicale

Août 2011

© Eric Vallières, 2011

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Risque de cancer du poumon associé aux expositions environnementales de fumées de soudage : 2 études cas-témoins basées sur la population montréalaise

Présenté par :

Eric Vallières

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Igor Karp, président-rapporteur

Jack Siemiatycki, directeur de recherche

France Labrèche, membre du jury

Résumé

Objectif : Examiner la relation entre une exposition professionnelle aux fumées de soudage au gaz et à l'arc et le risque de développer un cancer du poumon, chez des travailleurs provenant de différents milieux de travail et exposés à de nombreuses substances de différentes concentrations.

Méthodes : Nous avons mené deux études cas-témoins basés sur la population montréalaise (1979-86 et 1996-2001), incluant respectivement 857 et 736 cas, ainsi que des témoins appariés selon la fréquence des cas, le sexe et le lieu de résidence. Un historique détaillé des emplois occupés fut obtenu par entrevue et évalué par une équipe d'experts afin d'estimer l'intensité, la durée ainsi que l'exposition cumulative à un grand nombre de substances. Les fumées de soudage au gaz et à l'arc sont parmi les substances évaluées et nous avons pu calculer un rapport de cote (RC) et son intervalle de confiance de 95% (IC 95%) pour le risque de cancer du poumon en utilisant la régression logistique et en ajustant pour l'historique de tabagisme et plusieurs autres covariables pertinentes. Des analyses subséquentes ont permis d'explorer d'autres voies, comme la modification des effets observés par le tabagisme.

Résultats : Les résultats obtenus à partir des deux études étant assez similaires, nous avons donc pu les combiner pour former une seule étude. Aucune association statistiquement significative n'a été trouvée entre le cancer du poumon et les fumées de soudage au gaz (RC=1,13; IC 95%=0,90-1,42) et les fumées de soudage à l'arc (RC=1,01; IC 95%=0,80-1,26). Par contre, dans le sous-groupe des non-fumeurs et fumeurs très légers, nous avons trouvé un risque accru de cancer du poumon en relation avec les fumées de soudage au gaz (RC=2,78; IC 95%=1,66-4,65) et à l'arc (RC=2,20; IC 95%=1,32-3,70). En se concentrant sur ce sous-groupe, nous avons trouvé un risque encore plus élevé de développer un cancer du poumon pour ceux exposés à des doses plus substantielles, pour le soudage au gaz (RC=4,63; IC 95%=2,14-10,03) et à l'arc (RC=3,45; IC 95%=1,59-7,48).

Discussion : Globalement, aucun excès de risque causé par une exposition aux fumées de soudage n'a été détecté, mais un excès a été trouvé chez les non-fumeurs et fumeurs légers uniquement et ce, pour les deux types de fumées de soudage. L'effet des fumées de

soudage peut être voilé chez les fumeurs, ou bien les non-fumeurs pourraient être plus vulnérables.

Mots-clés : épidémiologie, cancer, poumon, soudage, étude cas-témoins, santé du travail, expositions environnementales.

Abstract

Objective: To investigate the relationship between occupational exposure to gas and arc welding fumes and the risk of lung cancer among workers exposed to various agents at various concentrations and over a wide range of occupations.

Methods: We conducted two population-based case-control studies in Montreal (1979-1986 and 1996-2001), including 857 and 736 cases respectively and frequency-matched controls. Detailed job histories were obtained by interview and evaluated by an expert team of chemist-hygienists to estimate intensity, duration and cumulative exposure to multiple substances for each job. Gas and arc welding fumes were among the agents evaluated, and we estimated odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) for lung cancer using logistic regression, adjusting for smoking history and other relevant covariates. Subsequent analyses allowed us to explore other avenues, such as effect-measure modification by smoking.

Results: The results from both studies were similar, so a pooled analysis was conducted. No significant association was found between lung cancer and gas welding fumes (OR=1,13; 95% CI=0,90-1,42) or arc welding fumes (OR=1,01; 95% CI=0,80-1,26). However, when restricting attention to light and non-smokers, we found an increased risk of lung cancer in relation to gas welding fumes (OR=2,78; 95% CI=1,66-4,65) and arc welding fumes (OR=2,20; 95% CI=1,32-3,70). When we further narrowed attention to workers with the highest cumulative exposures, we found even higher risk of lung cancer for gas (OR=4,63; 95% CI=2,14-10,03) and arc welding fumes (OR=3,45; 95% CI=1,59-7,48).

Discussion: There was no detectable excess risk due to welding fumes among smokers; but among light and non-smokers there were excess risks related to both types of welding fumes. The effect of welding fumes may be masked in smokers or light and non-smokers may be more vulnerable.

Keywords : epidemiology, cancer, gas and arc welding, lung neoplasms, occupational exposure, case-control studies.

Table des matières

Résumé	iii
Table des matières	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	xi
Liste des sigles et abréviations	xii
Remerciements	xiii
1. INTRODUCTION.....	1
2. RECENSION DES ÉCRITS	4
Cancer du poumon	5
Informations sur le cancer du poumon.....	5
Épidémiologie descriptive.....	6
Facteurs de risque.....	7
Informations sur le soudage	10
Historique du procédé de soudage	10
Précisions linguistiques.....	11
Description des différents procédés de soudage	12
Présentation rapide des études publiées avant 1990 et conclusions du CIRC	16
Études provenant de statistiques de mortalité	17
Études de cohorte	17
Études cas-témoins.....	18
Conclusion du Centre International de Recherche sur le Cancer.....	19
Recension des études épidémiologiques	19
Preuves épidémiologiques.....	20
Conclusions.....	27
3. OBJECTIFS	28
4. MÉTHODOLOGIE	30
Présentation	31
Sélection des cas	31
Sélection des témoins.....	32

Taux de participation.....	33
Collecte de données.....	33
Évaluation des expositions.....	34
Analyses statistiques	35
Analyses stratifiées.....	37
Analyse selon la catégorie d'emploi	37
Analyses spécifiques selon certaines variables sociodémographiques	37
Analyse selon l'intensité de tabagisme	37
Analyse selon le sous-type histologique	38
Analyses spécifiques selon certaines co-expositions professionnelles	38
Jumelage des témoins et des études	38
5. RÉSULTATS.....	40
Caractéristiques sociodémographiques	41
Prévalence des expositions et co-expositions	41
Profil d'emploi	42
Risque de cancer du poumon lié à l'exposition aux fumées de soudage	43
Étude I : témoins-cancer et témoins-population.....	43
Étude I, Étude II et analyse combinée.....	44
Durée de l'exposition	44
Estimation du risque spécifique, par sous-type histologique	45
Analyse de sensibilité pour le statut de répondant (mandataire).....	45
Analyse en fonction de sous-groupes spécifiques.....	46
Appartenance ethnolinguistique.....	46
Effet de l'âge	46
Modification de la mesure d'effet par le tabagisme	47
Analyses spécifiques pour certaines covariables professionnelles	48
Acier inoxydable versus acier doux	48
Co-exposition à certaines poussières de métaux cancérigènes	48
6. DISCUSSION	50
Retour sur les résultats	51
Considérations, forces et faiblesses.....	55
Précision des résultats	55

	viii
Biais de sélection.....	56
Biais d'information (rappel, intervieweur)	57
Évaluation de l'exposition.....	58
Confusion	60
Temporalité de l'exposition	61
Exclusion des femmes.....	61
Groupes contrôles.....	62
Jumelage des études	62
Implications en santé publique.....	63
7. CONCLUSION.....	64
8. BIBLIOGRAPHIE	66
9. TABLEAUX	78
10. FIGURES.....	98
ANNEXE 1 : Questionnaire détaillé pour les soudeurs.....	xiii

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques sociodémographiques des participants aux deux études cas-témoins de la région montréalaise

Tableau 2 : Distribution des participants en fonction de diverses dimensions de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

Tableau 3 : Distribution des participants en fonction de l'intensité de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

Tableau 4 : Distribution des emplois occupés par les participants exposés aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

Tableau 5 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux deux catégories d'emploi présentant le plus d'exposition aux fumées de soudage, dans deux études cas-témoins

Tableau 6 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, en utilisant les deux groupes témoins de l'Étude I

Tableau 7 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

Tableau 8 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions de fumées de soudage au gaz et à l'arc en fonction de la durée d'exposition, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 9 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de **soudage au gaz** selon le sous-type histologique, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

Tableau 10 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de **soudage à l'arc** selon le sous-type histologique, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

Tableau 11 : Effet du statut de répondant sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 12 : Effet de l'appartenance ethnolinguistique sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 13 : Effet de l'âge du participant sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 14 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc et stratifié selon l'intensité du tabagisme, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 15 : Effet conjoint du tabagisme et de deux types de fumées de soudage associé au risque de cancer du poumon, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 16 : Tableau des co-expositions des principaux éléments nocifs présents dans l'environnement de soudage de l'Étude I

Tableau 17 : Tableau des co-expositions des principaux éléments nocifs présents dans l'environnement de soudage de l'Étude II

Tableau 18 : Effet de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon, avec ou sans la présence d'acier inoxydable, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Tableau 19 : Effet de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc sur le rapport de cote du cancer du poumon, avec ou sans la présence d'un des trois métaux cancérigènes (Cr, Ni, Cd) dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Liste des figures

Figure 1 : Principaux éléments présents dans la fumée (concentration > 1%) en fonction des principaux procédés de soudage sur différents métaux

Figure 2 : Moyenne ou plage de distribution (%) des éléments des fumées de soudage, par type et par métal soudé

Figure 3 : Étapes menant vers l'échantillon final de chaque étude cas-témoins

Figure 4 : Figure 4 : Nombre de participants exposés aux fumées de soudage au gaz et à l'arc dans chacune des deux études et le pourcentage de chevauchement entre les deux types de fumées

Figure 5 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions aux fumées de soudage, chez les non-fumeurs et les fumeurs, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Figure 6 : Relation entre l'exposition à la fumée de soudage et à trois vapeurs de métaux carcinogènes, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

Liste des sigles et abréviations

Al	Aluminium
Ba	Baryum
Ca	Calcium
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
F	Fluor
Fe	Fer
IC	Intervalle de confiance
ICD-O	<i>International Classification of Diseases – Oncology</i>
K	Potassium
MAG	<i>Metal active gas welding</i> (Soudage sous gaz actif)
MIG	<i>Metal inert gas welding</i> (Soudage sous gaz inerte)
MMA	<i>Manual metal arc welding</i> (Soudage à l'arc métallique)
Mn	Manganèse
MS	<i>Mild steel</i> (acier doux)
Ni	Nickel
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OR	<i>Odds ratio</i>
RC	Rapport de cote
Si	Silice
Soud.	Soudage
SS	<i>Stainless steel</i> (acier inoxydable)
Ti	Titane
TIG	<i>Tungsten inert gas welding</i> (Soudage au tungstène sous gaz inerte)
WHO	<i>World Health Organization</i>
WRCF	<i>World Research Cancer Funds</i>
Zn	Zinc

Remerciements

Avoir attendu jusqu'au dernier moment avant d'écrire ces remerciements prend ici tout son sens. La rédaction de ce mémoire s'est déroulée dans les règles de l'art, avec une courbe d'apprentissage non moins importante. Je n'aurais pu passer au travers de ce long processus sans l'aide, le soutien et la présence de nombreuses personnes.

Un merci spécial à Jack Siemiatycki, mon directeur de maîtrise, qui m'a transmis sa passion pour la recherche épidémiologique, alors que ce domaine était encore relativement assez flou dans mon esprit il y a trois ans à peine. Son aide et sa sagesse m'ont beaucoup aidé.

Merci à Javier Pintos, qui m'a si bien soutenu, tant au niveau académique que moral. Les quelques dîners et après-midis à discuter tant de la vie politique québécoise que de la Coupe du monde m'ont bien aidé à passer au travers.

Merci à Jérôme Lavoué pour son savoir en expositions professionnelles, ainsi qu'aux discussions sur les prochains spectacles à Montréal.

Merci à Lesley Richardson et Sally Campbell, sans qui la recherche bibliographique et la rédaction d'autres portions du mémoire auraient été beaucoup plus fastidieuses.

Merci à Alassane, Marie-Claude, Marie-Élise, Julie, Marie-Pierre et tous les autres membres de l'équipe de recherche en épidémiologie environnementale, pour leur aide et leur conversation à l'heure du dîner.

Merci à Stéphanie et à ma famille qui m'ont si bien appuyé et encouragé!

1. INTRODUCTION

Le cancer du poumon est le type de tumeur le plus répandu mondialement selon les données datant de 2008 de l'Organisation Mondiale de la Santé : 1,3 million de morts annuellement seraient attribuables à ce type de cancer. (1) Ce type de tumeur se classe au premier rang pour la mortalité dans la plupart des pays industrialisés, mais gagne aussi en importance dans les pays en voie de développement. Même si le rôle principal du tabagisme a été établi depuis déjà plusieurs décennies, cela ne signifie pas pour autant que tous les fumeurs développeront le cancer du poumon, ni que les non-fumeurs n'auront jamais ce type de cancer. C'est donc cette nature multifactorielle du cancer qui nous porte à explorer différentes avenues quand vient le temps de chercher les causes de cancer du poumon. Selon une estimation de Richard Doll et Richard Peto, entre 5% et 15% des cas de cancer du poumon seraient attribuable aux expositions environnementales et professionnelles. (2) L'identification de tels facteurs de risque modifiables est essentielle dans le processus de prévention du cancer du poumon.

Les expositions professionnelles issues des activités de soudage font partie de ces agents soupçonnés d'augmenter le risque de cancer. À travers le monde, environ 800 000 personnes pratiquent le soudage à temps plein comme métier principal. Si on inclut aussi une utilisation plus partielle du soudage dans le cadre d'un travail, le nombre de personnes touchées se situe entre 2 et 3 millions. (3, 4) Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a publié, en 1990, une monographie sur les fumées de soudage. Il s'agit en fait d'une revue de littérature complète depuis le milieu des années 1950 et qui sert à formuler quelques conclusions sur les risques d'exposition aux particules intrinsèques présente dans le milieu du soudage. Ce groupe d'experts a finalement classifié ces expositions dans le groupe 2B, soit les substances possiblement cancérigènes. Les preuves de cancérigénicité chez l'humain sont limitées et, chez l'animal, inadéquates. Depuis ce temps, plusieurs études, revues systématiques et méta-analyses ont analysé ce phénomène.

Les résultats provenant des études ultérieures à la publication de la monographie du CIRC en 1990 sont parfois discordantes avec la mention « possiblement cancérigène ». Les associations sont parfois positives, parfois négatives, et beaucoup de ces études comportent toujours des limites, tel le tabagisme, qui affecte la crédibilité des résultats.

La diversité des expositions émanant du processus de soudage dépend de nombreux éléments : le type de soudage pratiqué (au gaz, à l'arc électrique), le type de métal à souder (acier doux, acier inoxydable, etc.) ainsi que du type d'électrode, de gaz, ou de courant

électrique utilisé. Plusieurs études, en particulier les grandes cohortes, ne contiennent pas d'informations suffisantes sur les principales sources de confusion, comme le tabagisme et l'amiante, qui fait souvent partie du procédé. Beaucoup de ces études sont basées sur le titre professionnel et ne prennent pas en considération l'historique détaillé et personnel des expositions et des risques présents dans l'environnement de travail. Le problème principal qui découle de ces observations est la difficulté de séparer les effets intrinsèques des fumées de soudage de ceux des différentes substances liées à ces activités, comme les composés de chrome IV et de nickel. La cancérogénicité de ces substances a été reconnue par le CIRC qui les a classifiées dans le Groupe 1, qui définit les substances comme cancérogènes (4).

Dans cette étude, nous avons exploré le risque de cancer du poumon en fonction des fumées issues de deux procédés différents de soudage, soit le soudage au gaz et à l'arc électrique. Deux études cas-témoins basées sur la population montréalaise, au design assez semblable, permettent d'estimer ce risque ainsi que plusieurs autres facteurs sociodémographiques. La conception de ces études a été faite par le Dr Jack Siemiatycki, en plus de développer la méthode d'évaluation des expositions professionnelles et de superviser la réalisation de chacune de ces études. Nous avons utilisé les informations concernant le domaine du soudage disponible dans les bases de données de ces deux études cas-témoins, d'abord séparément puis conjointement, afin d'estimer les risques de cancer du poumon. Grâce à trois niveaux de dimensions d'exposition récoltés, nous avons pu tenir compte de l'effet cumulatif des expositions durant la vie des participants. En plus, nous avons pu contourner certains problèmes rencontrés dans quelques autres études en tenant compte du tabagisme ainsi que de plusieurs autres expositions professionnelles, comme la présence d'amiante et des composés de chrome IV et de nickel.

2. RECENSION DES ÉCRITS

Cancer du poumon

Informations sur le cancer du poumon

Le terme « cancer du poumon » employé la plupart du temps désigne en fait un groupe de tumeurs malignes tout issues du conduit bronchique, mais qui peuvent différer par certaines caractéristiques cliniques ou histologiques. Les quatre principaux sous-types histologiques, qui représente plus de 90% des cas de cancer du poumon sont le carcinome à petites cellules, le carcinome épidermoïde, le carcinome à grandes cellules indifférenciées et l'adénocarcinome. (5) Le mécanisme menant aux différents sous-types demeure incertain malgré de nombreuses recherches. Les hypothèses ont mis l'emphase sur les différences soit au niveau du type de cellule d'origine du cancer ou encore des voies de différenciation cellulaire. (5) Malgré ces différences, le tabagisme reste associé à une augmentation du risque de survenue de ces quatre sous-types histologiques. L'effet dose-réponse lié à l'intensité et la durée du tabagisme ainsi que du nombre d'années écoulées depuis la cessation peuvent avoir une influence différente sur le risque. Le risque de développer un carcinome à petites cellules augmente plus rapidement pour chaque année de tabagisme, tandis que la diminution du risque est plus rapide après chaque année d'abandon. (6) Les premiers résultats portant sur le cancer du poumon et le tabagisme suggéraient une association plus forte entre le carcinome épidermoïde, suivi de près par le carcinome à petites cellules. À la fin des années 1970, on remarque un changement vers une prédominance de l'adénocarcinome, devenant le sous-type histologique le plus commun. (5)

L'absence de symptômes particuliers rend plus ardue la détection précoce de ce type de cancer. Des toux fréquentes, souvent avec saignements, ainsi que de fréquentes bronchites et pneumonies sont les symptômes prédominants. (7) Une fois le cancer diagnostiqué, les traitements conventionnels comme la chirurgie, la radiothérapie et la chimiothérapie ne peuvent que rarement être utilisés. (5) Les effets des thérapies sont plutôt modestes, comme en témoigne le faible taux de survie : environ 10% aux cinq années suivant le diagnostic. (7)

Épidémiologie descriptive

De très rare, le cancer du poumon est devenu la tumeur la plus répandue dans un grand nombre de pays. En plus de l'âge et du sexe (5), le taux d'incidence varie aussi en fonction de l'ethnicité (plus élevé chez les afro-américains aux États-Unis) (8, 9), d'un faible statut socioéconomique (10) et de la région géographique de résidence (plus élevé en Amérique du Nord et Europe). (11) Cette distribution serait attribuable à une interaction plus ou moins grande entre la susceptibilité génétique et les différences d'exposition aux principaux agents cancérogènes. (7, 8)

Comme le tabagisme demeure le principal facteur de risque du cancer du poumon, on peut remarquer un lien entre les tendances de consommation et les critères sociodémographiques énumérés. La courbe de progression du nombre de cas est d'abord apparue chez les hommes avec la popularité du tabagisme, pour ensuite augmenter aussi chez les femmes. (5) Quoiqu'il en soit, l'incidence reste plus élevée chez les hommes, bien que l'on commence à remarquer une légère diminution. (1) L'incidence du cancer du poumon est extrêmement faible en-dessous de 40 ans et augmente graduellement avec l'âge. Plus de 80% des cas incidents de cancer du poumon se retrouvent chez les personnes âgées de 60 ans et plus au Canada, en 2011. (12)

Le cancer du poumon est plus fréquemment diagnostiqué chez les personnes âgées de 65 ans et plus que chez les jeunes, mais il n'est pas rare de la voir apparaître dès l'âge de 40 ans. (7) Le cancer du poumon est aussi plus répandu dans les pays développés qu'ailleurs, mais comme le tabagisme est en augmentation dans les pays moins développés, il est probable que l'incidence de cancer augmente parallèlement. Pour l'instant, il n'est pas encore possible de connaître le poids exact de l'augmentation rapide de cette habitude dans les pays en voie de développement car ces pays en sont encore aux premiers stades de cette épidémie. (13, 14) On prévoit que plus de 80% de décès reliés au tabagisme dans le monde proviendront des pays à faible et moyen revenu vers 2030. (15)

Facteurs de risque

Tabagisme

Une multitude de preuves indiquent que le tabagisme est la cause principale des tumeurs cancéreuses du poumon. À partir des années 1950, des études épidémiologiques de plus en plus précises ont pu démontrer l'effet cancérigène de la fumée de tabac. On peut remarquer que les tendances géographiques et temporelles du cancer du poumon reflètent de près l'historique de consommation du tabac datant de deux ou trois décennies. (16) Le risque de développer un cancer du poumon est relatif à plusieurs dimensions du tabagisme, soit la consommation quotidienne, la durée du tabagisme, le temps depuis la cessation, l'âge au début de la consommation, le type de produit consommé et la façon d'inhaler. (7) Le CIRC estime que 85% à 90% des cas de cancer du poumon sont attribuables à l'usage du tabac. (14) Le risque relatif chez les fumeurs, comparé à celui des non-fumeurs, est de l'ordre de 8 à 15 chez les hommes et de 2 à 10 chez les femmes et augmente proportionnellement avec la durée du tabagisme et le nombre de cigarettes fumées par jour. (7, 17, 18) L'effet de cessation du tabagisme est notable sur la cancérigénicité. L'excès de risque commence à diminuer après les cinq premières années d'abandon pour parfois s'approcher du niveau de risque des non-fumeurs, après vingt années de cessation. (14) Les anciens fumeurs demeurent quand même toujours plus à risque de développer la maladie que ceux qui n'ont jamais fumé.

Tabagisme passif

Le tabagisme passif est défini comme étant l'exposition environnementale à la fumée secondaire, considérée comme étant la fumée expirée par les fumeurs et celle émanant des cigarettes, ou à la fumée tertiaire, qui est composée des substances volatiles émanant des objets exposés à la fumée secondaire. (14) Des études échelonnées sur plusieurs années ont pu établir un lien entre l'exposition passive à la fumée de tabac et le cancer du poumon, même en tenant compte de la diète et d'autres facteurs pouvant influencer le risque. L'excès de risque estimé pour une exposition passive à la fumée de tabac est d'environ 20% à 25%. (19-21) En comparant les niveaux de cotinine chez les fumeurs actifs et ceux,

passifs, exposés à la fumée, on estime que ces derniers sont exposés à environ 0,1 à 1,0 cigarette par jour. L'extrapolation du risque relatif chez de tels fumeurs légers concorde avec le risque détecté chez les fumeurs passifs. (7) Le CIRC a finalement classifié l'exposition passive à la fumée de tabac comme étant cancérigène pour les humains (Groupe 1). (14)

Interaction avec la fumée de tabac

Certains agents carcinogènes pourraient interagir avec la fumée de tabac et ainsi modifier l'effet cancérigène de chacun. Le risque relatif de développer un cancer du poumon après exposition à certains éléments pourrait être plus grand ou plus faible chez les fumeurs, en comparaison avec les non-fumeurs et fumeurs légers. Les explications de ce phénomène sont variées : soit l'interaction a lieu au stade de l'exposition externe, où l'agent doit être absorbé sur les particules de tabac, soit à un stade du processus de cancérogenèse, par induction d'enzymes. (7) Les études décrivant ce phénomène sont limitées, en partie à cause d'un nombre souvent insuffisant de sujets dans la catégorie non-fumeurs et fumeurs légers. (22) Certaines études suggèrent que le tabagisme pourrait agir en synergie avec l'exposition à l'amiante, à l'arsenic, à la silice cristalline (22, 23) ou aux produits de désintégration du radon. (24)

Expositions professionnelles

En plus du tabagisme, le cancer du poumon est associé à l'exposition à plusieurs substances chimiques ou physiques présentes en milieu de travail. De nombreuses substances ont été classifiées comme étant « définitivement cancérigène » par le CIRC, et qui pourrait se retrouver dans le milieu du soudage. Par exemple, l'amiante, la silice cristalline, l'arsenic inorganique et ses composés, le béryllium, le cadmium et ses composés, le chrome hexavalent et ses composés ainsi que certains composés de nickel font partie du Groupe 1 du CIRC. (25)

Facteurs alimentaires

D'autres facteurs de nature différente sont soupçonnés de jouer un certain rôle dans le développement du cancer du poumon. Du côté des habitudes alimentaires, l'association entre la consommation de boissons alcoolisées et le cancer du poumon a été souvent le sujet d'études épidémiologiques. Par contre, les conclusions demeurent quelquefois contradictoires. Au moins une méta-analyse (26) et une revue de littérature (27) ont conclu que la consommation élevée d'alcool pouvait augmenter le risque de cancer du poumon. Dans le cas de la méta-analyse (26) et de la monographie publiée par le CIRC en 1988 (28), les résultats sont assez souvent inconsistants et pourraient avoir été influencés par la confusion résiduelle du tabagisme. Plus récemment, en 2007, le *World Cancer Research Fund* (WRCF) n'a pas observé d'association entre la consommation d'alcool et le cancer du poumon (preuves limitées, aucune conclusion possible), après une méta-analyse de plusieurs études contrôlant pour la confusion du tabagisme. (29)

Plusieurs éléments de la diète peuvent aussi être liés au risque ou à la prévention du cancer du poumon. Certains aliments, lorsque consommés en excès, sont soupçonnés d'augmenter le risque de cancer du poumon, tels la viande rouge (30), les produits laitiers (31) ou le cholestérol. (32) Toutefois, les conclusions provenant de ces études sont limitées, car l'information ne permet pas toujours d'établir un lien causal entre ces expositions alimentaires et une hausse du risque de cancer. Une faible consommation de fruits et de légumes est associée assez constamment à une élévation du risque de cancer du poumon. (29, 33, 34)

Polluants environnementaux

D'autres facteurs provenant de professions ont été associés avec le cancer du poumon. Une grande étude européenne a établi un lien entre la pollution de l'air extérieur et le cancer du poumon et suggère une fraction attribuable à ce type d'exposition d'environ 10,7%. (35) La pollution de l'air intérieur, en particulier la présence de radon, est aussi considérée comme un agent cancérigène par le CIRC. (36) À partir de la même étude européenne (35), les auteurs estiment que cette exposition serait responsable de 4,5% des cas de cancer du poumon en Europe. Finalement, l'exposition aux méthodes plus traditionnelles de

chauffage et de cuisson, au charbon et au bois respectivement, est considérée comme cancérigène, en particulier chez les femmes. (37)

Facteurs socioéconomiques

Certains facteurs socioéconomiques sont aussi associés à une augmentation du risque de cancer du poumon. Un faible statut socioéconomique, qu'il soit défini par un indicateur de revenu, le niveau d'éducation ou encore la classe professionnelle, est associé à un risque plus élevé de développer une tumeur au poumon. (38) Par contre, comme le faible statut socioéconomique est souvent associé avec de nombreux autres facteurs de risque tels le tabagisme, une concentration plus élevée d'expositions professionnelles et de mauvaises habitudes alimentaires, il se pourrait que l'élévation du risque chez ces personnes soit liée à l'ensemble de ces facteurs plutôt qu'au statut. (10, 39) Une étude a pu ajuster pour ces facteurs de confusion et a tout de même conclu que le statut socioéconomique restait associé au cancer du poumon. (38)

Informations sur le soudage

Historique du procédé de soudage

La jonction de deux pièces de métal trouve ses origines dans la préhistoire, plus de 5000 auparavant, alors que les métaux étaient chauffés puis martelés afin de les souder ensemble.(40) Les techniques plus modernes furent développées vers la fin du 19^e siècle, avec l'apparition du soudage à l'arc et à résistance électrique ainsi que le soudage oxygaz. Le procédé de soudage à l'arc a été inventé en 1802, bien que la première utilisation, où un arc électrique passait entre deux électrodes de carbone afin de souder du métal ferreux, n'ait été enregistrée qu'en 1882. (41) Les premiers résultats étaient imprécis et plutôt fragiles, dû principalement à l'oxydation et la présence d'azote dans la soudure. Conséquemment, ce type de soudage s'est développé lentement avant d'arriver aux techniques actuelles, où une électrode fusible est utilisée. Par exemple, pour remplir des espaces plus larges, un câble métallique était inséré manuellement dans le métal en fusion. (42) Les électrodes enveloppées de papier ou de fil d'amiante semblaient produire de

meilleurs résultats que les autres types d'enrobages d'électrodes qui étaient expérimentés. (43) L'amiante a continué de faire partie du procédé de soudage à l'arc jusque dans les années 1950 en plus ou moins grande proportion. La qualité, mais aussi l'utilisation du soudage a beaucoup augmenté durant l'époque des deux Guerres Mondiales. D'un simple usage de réparation, le soudage s'est rapidement implanté dans les lignes de productions de plusieurs industries. (42)

Une fois le soudage bien implanté, de nombreuses autres techniques firent leurs apparitions dans l'après-guerre. Le soudage sous gaz inerte a été développé en 1948 et est le premier procédé à utiliser une électrode fusible sous un écran protecteur de gaz. (41) Plusieurs types de gaz peuvent être utilisés pour former cette protection qui empêche l'oxygène présent dans l'air de détériorer la soudure. Les gaz utilisés sont principalement l'argon ou l'hélium mélangé avec une quantité plus ou moins grande de dioxyde de carbone ou d'oxygène, car l'utilisation de gaz inerte pur produit un arc électrique instable et une augmentation des coûts. Comme le dioxyde de carbone n'est pas un gaz inerte et que la proportion de celui-ci dans le mélange gazeux peut être relativement importante, un nouveau procédé de soudage, sous gaz actif, est nommé. (40) Maintenant, ces différentes techniques permettent de souder presque n'importe quel type de métaux, comme l'acier inoxydable, qui est soudé par environ 10% des soudeurs. (44)

Précisions linguistiques

Selon le Grand dictionnaire terminologique de l'Office québécois de la langue française, les différences entre les termes « soudage » et « soudure » sont minimes, mais importantes. Dans la langue générale, les deux termes sont perçus comme synonymes, tandis que dans la langue technique, on les distingue. Le soudage est l'opération d'assemblage, tandis que la soudure est le résultat de cette opération. (45) Cette distinction sera la norme dans ce mémoire.

Grâce au foisonnement des techniques et des spécialisations dans le domaine du soudage, on observe du même coup une abondance dans les termes techniques les décrivant. Afin de garder une certaine cohérence, les termes suivants seront décrits en français, avec leur abréviation anglaise entre parenthèses. (4, 45)

- Soudage à l'arc métallique (MMA, *Manual metal arc welding*)
- Soudage sous gaz inerte (MIG/MAG, *Metal inert/active gas welding*)
- Soudage à l'arc avec électrode fourrée (*Flux-cored wire welding*)
- Soudage au tungstène sous gaz inerte (TIG, *Tungsten inert gas welding*)
- Soudage à l'arc sous flux en poudre (*Submerged arc welding*)

Description des différents procédés de soudage

Malgré tous les procédés et perfectionnements apportés au domaine, la grande majorité des activités de soudage se font à partir des cinq techniques mentionnées précédemment (soudage à l'arc métallique, sous gaz inerte, à l'arc avec électrode fourrée, au tungstène sous gaz inerte et soudage à l'arc sous flux en poudre). (46) Les deux premiers procédés, soit le soudage à l'arc métallique et le soudage sous gaz inerte, sont les plus importants en termes de fréquence d'utilisation, malgré une certaine variation au niveau géographique et temporel. (47)

Malgré que le métier de soudeur soit une profession reconnue, un nombre important de travailleurs effectuent certaines tâches de soudage, principalement le soudage à l'arc métallique et le soudage sous gaz inerte. Les autres procédés sont souvent plus spécifiques à un domaine en particulier, ou à un type de métal spécifique. Une grande variation existe en ce qui concerne le temps d'exposition au soudage dans une journée normale, ou « cycle de travail ». La fabrication de larges structures métalliques comporte en général une plus grande proportion de la journée dédiée uniquement au soudage que les assemblages plus modestes, où une plus grande manipulation des pièces diminue le temps de soudage. Le cycle de travail du soudage dépasse rarement 70% d'une journée complète, tandis que pour le soudage à l'arc métallique cette proportion se situe seulement entre 20% et 50%. (48)

Quelques études se sont intéressées aux données quantitatives décrivant l'exposition cumulative des fumées de soudage. (4) La valeur limite d'exposition (*Threshold Limit Value-Time Weighted Average, TLV-TWA*) pour les expositions aux fumées de soudage du fer, de l'aluminium et de l'acier doux, tant dans la zone respiratoire du soudeur que dans l'environnement de travail, est de 5 mg/m^3 , tant au Québec qu'aux États-Unis. (44, 49, 50)

Par contre, certaines études ont pu enregistrer des expositions beaucoup plus importantes que la limite proposée. L'étude de Stern a compilé les données de plusieurs études de cohorte scandinaves mesurant la concentration des poussières se trouvant dans la zone respiratoire des travailleurs, durant une journée. (51) Même si cette concentration variait selon les différents types de soudage, la valeur médiane mesurée était de 10 mg/m^3 , une valeur supérieure à la limite. Cette distribution n'est pas constante, les travailleurs avec la plus importante concentration de fumée sont en général quatre fois plus exposés que la moyenne. L'étude d'Ulfvarson indique que la concentration mesurée dépend beaucoup plus de la durée d'amorçage de l'arc électrique que du type de soudage. (52) Plusieurs autres études de cohorte européennes ont des résultats assez différents de concentration moyenne pour le soudage d'acier inoxydable. L'étendue des concentrations mesurées, dans l'étude de Van der Wal, va de $0,5 \text{ mg/m}^3$ à 40 mg/m^3 , selon le procédé utilisé. (53) Pour d'autres études, le 10% des travailleurs les plus exposés respirent entre $5,4 \text{ mg/m}^3$ et 41 mg/m^3 , selon le procédé. (54, 55) Ce ne sont là que quelques études qui montrent que la concentration des fumées respirées peut être très importante, même si le cycle de travail est court.

Le soudage peut être réalisé presque n'importe où, que ce soit sous l'eau ou sous des pressions intenses. La plupart du temps, cette activité a lieu dans un atelier plus ou moins confiné ou à l'extérieur, dans le cas de fabrication de larges structures métalliques. La Figure 1 présente un tableau résumant les principales techniques de soudage sur certains métaux, ainsi que les principaux constituants des fumées qui en découlent directement. Le détail de chaque technique sera expliqué dans les prochaines sections.

Le soudage à l'arc métallique (MMA)

L'équipement pour ce type de soudage ne consiste qu'en une forte source de courant électrique attaché, d'une part, à une électrode et de l'autre, à la pièce métallique étant soudée. Un arc électrique est ainsi créé par un contact bref entre l'électrode et la surface de travail pour être ensuite gardé à une distance suffisante. Les électrodes ont une durée de vie assez courte et doivent être remplacées assez fréquemment. Ce type de soudage produit

habituellement une couche de scories par-dessus la soudure qui doit être sablée ou enlevée à l'aide d'un marteau. Les électrodes utilisées sont offertes dans un grand éventail de dimensions et de composantes quoique, la plupart du temps, le matériau de l'électrode choisie est assez semblable à celui du métal soudé. Le revêtement des électrodes peut soit être de nature cellulosique (TiO_2 , sable et silicate de magnésium), rutile (TiO_2 , CaCO_3 et cellulose) ou basique (haute teneur en carbonate de calcium et fluorure). Le carbone des électrodes est graduellement dégradé en dioxyde de carbone qui forme une protection autour de la soudure et empêche l'oxygène de l'air de former des imperfections. (56) La présence d'amiante dans les électrodes était courante jusqu'aux années 1950. Ce type de soudage électrique expose aussi les travailleurs à certaines doses de radiations ultraviolettes.(4, 43)

Les fumées générées dépendent principalement du type de métal soudé et de l'électrode choisie, mais aussi du type, de l'intensité ainsi que de la polarité du courant utilisé. (57) Les fumées issues de ce type de soudage peuvent contenir, en plus ou moins grande quantité, de l'oxyde de fer, de l'oxyde de manganèse, du fluorure, du dioxyde de silicium, de l'ozone, du monoxyde de carbone ainsi que des composés de métaux (titane, nickel, chrome, molybdène, vanadium, tungstène, cuivre, cobalt, fer, zinc). (58) Par exemple, le soudage d'acier doux produira principalement des fumées d'oxyde de fer. (56)

Le soudage sous gaz inerte/actif (MIG/MAG)

L'équipement pour ce type de soudage est plus complexe que pour le soudage à l'arc électrique et consiste en une source d'alimentation, un dévidoir de fil (électrode) ainsi qu'une torche de soudage à protection gazeuse. Le fil-électrode est emmagasiné dans une bobine fixe et alimente automatiquement la torche tout au long du soudage. Le courant électrique reste proportionnel à la vitesse de consommation du fil-électrode et, comme dans l'autre type de soudage, un câble de retour à la source est utilisé sur la pièce soudée. La particularité réside en la présence de gaz de protection qui jaillit de la torche en même temps que l'arc électrique est créé entre la torche et le métal. L'argon, l'hélium, le dioxyde de carbone, l'oxygène, l'azote ou un mélange de ceux-ci sont souvent utilisés comme gaz protecteur. Un gaz inerte pur est rarement utilisé, car il devient plus difficile d'obtenir un

arc électrique stable que lorsqu'un mélange est utilisé, en plus d'augmenter substantiellement le prix. (56) Grâce à la plus longue durée de vie du fil-électrode et du moindre recours au marteau pour enlever les couches de scories, ce type de soudage permet un cycle de travail de soudage plus long que dans le cas du soudage à l'arc électrique. (4) Les fumées générées dans ce type de soudage dépendent encore principalement du type de métal soudé, du type de fil-électrode utilisé, de l'intensité du courant, mais aussi de la nature du gaz utilisé et son débit. Plusieurs chercheurs ont étudié les différences d'expositions entre les deux principales techniques de soudage. Les concentrations de fumées d'oxyde de fer sont supérieures pour le soudage à l'arc électrique, tandis que les concentrations d'ozone sont supérieures pour le soudage au gaz. (59) Ces concentrations d'ozone augmentent avec l'intensification de la densité de courant. En général, les principales fumées répertoriées dans ce type de soudage sont l'aluminium, le nickel, le fer, le manganèse, la silice, le chrome et le nickel, selon le type de métal travaillé. Ce type de soudage entraîne aussi des radiations plus intenses causées par la présence de gaz protecteur qu'avec la technique de soudage à l'arc. (56, 60)

Le soudage à l'arc avec électrode fourrée

L'équipement utilisé pour ce type de soudage est assez similaire au précédent (soudage sous gaz inerte). La principale différence concerne le fil-électrode. Certaines de ces électrodes sont enrobées d'une substance qui se transforme en gaz protecteur au contact du courant électrique, comme du carbonate de baryum ou du fluorure de baryum. De plus, ce sont des électrodes tubulaires dont le cœur est rempli de flux, de composition assez similaire à ce que l'on retrouve dans le soudage à l'arc, comme le sable rutil. (61) Ce type de soudage va habituellement laisser une légère couche de scories plutôt facile à éliminer. Le cycle de travail avec cette technique est assez similaire au soudage sous gaz inerte. (4)

Le soudage au tungstène sous gaz inerte (TIG)

Ce type de soudage nécessite une torche de soudage à protection gazeuse munie d'une électrode de tungstène. Le tungstène est un matériau très résistant qui ne fond pas lors de

l'utilisation. Les gaz inertes protégeant la soudure sont principalement de l'argon, de l'hélium ou un mélange des deux. Ce procédé permet habituellement de souder des petites pièces ou des retouches. Dans le cas de plus grosses structures, un fil d'apport est utilisé. Ce procédé est souvent utilisé afin de produire des soudures de haute qualité sur plusieurs types de métaux, comme l'aluminium, l'acier inoxydable, les alliages de nickel et de magnésium ainsi que d'autres métaux réactifs. (4)

La concentration des fumées de soudage est généralement moins élevée que dans le soudage sous gaz. Ce qui diffère, au niveau des expositions, concerne la présence de rayonnements ultraviolets plus intenses et d'un champ électromagnétique plus susceptible de provoquer des problèmes cutanés. (56)

Le soudage à l'arc sous flux en poudre

Pour ce procédé, le fil-électrode est submergé d'un flux sous forme de poudre qui précède et protège l'arc électrique et la soudure elle-même. Avec un système de pompe qui récupère le flux après la soudure et le redistribue vers l'avant, ce procédé devient presque automatique. Une fois la machine installée sur la pièce métallique, la tâche du soudeur devient surtout celle de veiller à la qualité de la soudure.

Les concentrations de fumées de soudage sont plus faibles (jusqu'à 1/8 des expositions) qu'avec les autres techniques, car le soudage a lieu sous une couche protectrice de flux. L'exposition principale est en lien direct avec la manipulation du flux protecteur, qui contient surtout du fluorure d'hydrogène ainsi que d'autres particules solubles. (56)

La Figure 2 présente un tableau plus détaillé de la moyenne ou la plage de distribution, en pourcentage, des éléments des fumées de soudage, par type et par métal soudé. (4)

Présentation rapide des études publiées avant 1990 et conclusions du CIRC

Avant de procéder au recensement des dernières études qui traitent des risques de cancer du poumon en lien avec les expositions aux fumées de soudage, il est nécessaire de résumer les conclusions établies par le CIRC lors de la publication de la Monographie #49, ainsi que les plus récentes études épidémiologiques sur le sujet. Cette monographie recense les études

épidémiologiques qui ont été publiées entre le début des années 1960 et 1990, l'année de publication du document. Les études répertoriées sont classées en trois catégories, soit les statistiques de mortalité et morbidité, les études de cohortes et les études cas-témoins. Parmi les études portant sur le cancer du poumon en fonction des expositions aux fumées de soudage (ou une profession de soudeur), 8 sont des études portant sur des statistiques de mortalité, 11 proviennent d'études de cohortes et 12 sont des études cas-témoins.

Études provenant de statistiques de mortalité

La très grande majorité des études recensées dans cette monographie incluait les sujets en fonction de leur profession, c'est-à-dire que le critère d'inclusion des participants était relatif au métier de soudeur. Bien souvent, cette catégorie de travailleur était jumelée aux emplois d'oxycoupeur (*flame-cutters*). Les données nord-américaines ont fournies une multitude d'études basées sur les statistiques de mortalité, en relation avec l'emploi du recensement, à partir des années 1960. Seulement une de ces études rapporte une association positive et statistiquement significative entre le cancer du poumon et les métiers de soudeur et d'oxycoupeur. (62) On démontre aussi souvent des associations positives ou négatives, mais non statistiquement significatives. (63-69) Comme les informations tirées de ces études proviennent pour la plupart de données de recensement ou de fichiers hospitaliers, il manque très souvent de l'information sur les principaux facteurs de confusion, comme le tabagisme. Une seule étude présente une association inférieure au résultat brut, lorsqu'ajusté pour la consommation de tabac. (66)

Études de cohorte

Il y a eu plusieurs importantes études de cohorte qui ont analysé le lien entre le cancer du poumon et le métier de soudeur. On remarque une association positive dans toutes ces études, mais une augmentation de risque d'environ 30% et statistiquement significative dans seulement deux publications. (70, 71) Les autres études professionnelles rapportaient une association positive, mais non statistiquement significative, (72) peut-être à cause d'un nombre insuffisant de cas de cancer pour certaines études. (73-75) Quelques études recherchent de plus près le lien entre le cancer du poumon et l'emploi comme soudeur dans

les chantiers maritimes, où l'exposition à l'amiante est souvent plus importante. Ces trois études indiquent que l'association est positive, mais non significative, et que l'exposition à l'amiante chez les travailleurs était possible. (76-78). Seulement quelques-unes de ces études suggèrent la présence d'amiante lors de l'exposition, mais sans contrôler pour cette confusion potentielle. (72, 74, 76, 77) En ce qui concerne le tabagisme, l'information utilisée pour ajuster était souvent incomplète, car elle provenait soit d'un sondage national (71) ou d'une portion de la cohorte (72, 75, 78). Par contre, beaucoup de ces études de cohorte ne contenaient pas d'information sur l'historique de tabagisme des participants (70, 73, 74, 76, 77).

Deux autres études de cohortes se sont penchées sur le risque plus spécifique qu'ont les soudeurs travaillant principalement l'acier inoxydable. Les résultats des analyses sont assez différents, allant d'un ratio de mortalité standardisé (SMR) de 95 pour une étude et de 249 pour l'autre, mais non significatif. (79, 80) L'étude de Sjogren et *al* ne contrôle pas pour le tabagisme, mais précise l'absence d'amiante dans l'usine. (80) Les résultats de l'étude de Becker et *al* sont ajustés pour l'historique de tabagisme, mais pas pour la présence d'amiante. (79)

Finalement, une étude publiée en 1989 sur une cohorte historique de soudeurs européens, qui est en fait une large étude multicentrique regroupant la collaboration de huit pays, a pu se pencher sur différents environnements de soudage ainsi que sur certaines expositions plus spécifiques. Un excès de risque de cancer de la trachée, des bronches et du poumon, statistiquement significatif, est détecté pour tous les soudeurs (SMR 134). Par contre, en délimitant certains groupes de soudeurs comme ceux travaillant dans les chantiers navals, sur l'acier doux ou l'acier inoxydable, les résultats sont plus éparés. Seule l'association entre le cancer du poumon et les soudeurs d'acier doux reste positive et statistiquement significative. Le tabagisme n'est pas connu pour la plupart des participants et la présence d'amiante est soupçonnée à plusieurs endroits. (81)

Études cas-témoins

Une dizaine d'études cas-témoins font aussi partie de la revue exhaustive de la monographie de 1990. Des huit études analysant le risque de développer un cancer du

poumon en fonction du métier de soudeur, seulement trois rapportent un excès de risque statistiquement significatif. (82-84) Les autres études mentionnent des associations non significatives, soit positives (85-87) ou négatives. (88, 89) Ces études ne rapportent pas d'ajustement pour la présence d'amiante, mais l'historique détaillé du tabagisme est la plupart du temps pris en compte lors de l'entrevue. (82, 84-87, 89) Pour les travailleurs de chantiers navals, un excès de risque significatif est détecté dans deux études provenant de la côte-est américaine. Aucun ajustement n'est rapporté pour le tabagisme, mais la présence d'amiante est tenue en compte lors des analyses. (90, 91). Une dernière étude fait la distinction entre les soudeurs en général et ceux travaillant sur l'acier inoxydable, ces derniers ayant un risque accru de développer un cancer du poumon, après ajustement pour le tabagisme. Par contre, lorsque les résultats sont ajustés pour la présence importante d'amiante, le risque de cancer du poumon n'est plus statistiquement significatif pour les soudeurs d'acier inoxydable.(92)

Conclusion du Centre International de Recherche sur le Cancer

À la suite de la revue de ces études portant sur le risque de cancer chez les humains ainsi que sur plusieurs études expérimentales, un groupe d'experts réuni par le CIRC a conclu que les fumées de soudage sont possiblement cancérogènes chez l'humain.

Recension des études épidémiologiques

Après la publication de la monographie du CIRC en 1990, certains chercheurs ont tenté d'analyser plus en détail divers aspects des expositions aux fumées de soudage. La recension des écrits qui suit inclut les études épidémiologiques de langue anglaise ou française publiées après 1990, portant sur l'incidence du cancer du poumon (ou d'études multisites incluant le cancer du poumon) dans lesquelles l'exposition aux fumées de soudage ou une profession en tant que soudeur est le point d'intérêt. Une attention particulière a été portée au devis de l'étude (cas-témoins, cohorte, statistique de mortalité, méta-analyse), au type d'exposition ainsi qu'à la présence des principaux facteurs de confusion, c'est-à-dire le tabagisme et l'amiante. Quelques études sont plus spécifiques que

d'autres, se concentrant davantage sur certaines spécialisations, comme le soudage d'acier inoxydable ou le soudage en chantier maritime.

Preuves épidémiologiques

Si plusieurs études démontrent un risque accru de cancer du poumon chez les soudeurs, comparés à la population générale, il n'y a pas encore d'entente sur la portion de l'excès de risque attribuable aux fumées de soudage, sur les constituants responsables de l'excès de risque ni sur l'importance de l'excès de risque découlant de l'exposition à l'amiante et au tabagisme. (93)

Études concernant le soudage au gaz ou à l'arc

Quelques études, principalement des études de cohortes et des études cas-témoins, ont pu faire la distinction entre les deux plus importantes techniques, soit le soudage au gaz ou le soudage à l'arc électrique. (94-98)

Une cohorte norvégienne de 4571 travailleurs de chantier naval (98) utilisait presque uniquement le soudage à l'arc électrique sur l'acier doux. Un excès de cas de cancer de poumon a été découvert chez les soudeurs de la cohorte, mais le tabagisme et la présence d'amiante sont des facteurs de confusion possible dans cette étude.

Deux articles, l'un sur une étude cas-témoins alors en cours et l'autre sur les résultats finaux (96, 97), décrivent les risques de cancer du poumon de 839 cas et du même nombre de témoins. Le soudage à l'arc électrique étant la technique la plus répandue, 95% des participants ont pratiqué ce genre de soudage durant au moins six mois. Même s'il n'y a pas d'effet dose-réponse détecté, les auteurs rapportent une augmentation du risque, même après ajustement pour le tabagisme et la présence d'amiante. Une partie de l'augmentation de risque, mais pas tout, serait attribuable à ces deux facteurs de confusion.

Pour le troisième suivi publié en 1999 d'une étude cas-témoins allemande (95), la majorité des soudeurs pratiquaient le soudage à l'arc électrique où il y avait une exposition importante à la fumée de chrome et de nickel. Il y a une augmentation de la mortalité

d'environ 35% après ce type d'exposition, mais cette augmentation pourrait être causée en grande majorité par une importante présence d'amiante.

En 2001, une cohorte historique italienne de travailleurs d'un chantier naval est étudiée. (94) L'exposition principale était le métier de soudeur, mais une distinction était possible entre soudeurs à l'arc électrique et ceux utilisant le gaz. Le ratio de mortalité était surélevé pour ces deux groupes de travailleurs, mais cette différence est non significative. De plus, il n'y avait aucune information sur le tabagisme et une forte présence d'amiante sur ce chantier naval.

Études concernant le soudage d'acier inoxydable ou d'acier doux

Plusieurs études ont tenté de faire la distinction entre deux principaux types de métaux, l'acier inoxydable et l'acier doux afin de mieux évaluer le risque de cancer du poumon après exposition aux fumées de soudage. (99-107)

Une importante étude multicentrique regroupant des données provenant de neuf pays européens a été publiée quelque temps après la monographie du CIRC. (99) L'issue principale était la mortalité (différents types de cancer) comparée aux taux nationaux, par rapport à une exposition au soudage d'acier inoxydable et d'acier doux. Lorsque le risque de cancer du poumon est analysé par type d'exposition, une tendance croissante est observée pour chaque type, avec une augmentation plus perceptible lorsque l'acier inoxydable prédomine. Par contre, la différence entre le niveau de risque entre ces deux expositions est difficile à quantifier, à cause possiblement de la présence d'amiante.

La même année, une cohorte américaine de 4459 soudeurs d'acier doux a été analysée. (100) Cette cohorte n'a pas été exposée à l'amiante ni aux fumées d'acier inoxydable, deux facteurs confondants possibles. Une légère augmentation de risque de mortalité par cancer du poumon, non significative, a été découverte. Une mise à jour a été effectuée par les mêmes auteurs dix ans plus tard. (105) Un ratio de mortalité de 1,46 (IC 95%=1,20-1,76), statistiquement significatif, a été calculé pour les soudeurs travaillant l'acier doux. Il n'y a pas de tendance détectable pour l'effet de la durée d'exposition sur le risque. Les données sur le tabagisme n'ayant pas été recueillies initialement, un sondage transversal a été effectué par la suite sur un échantillon, pour découvrir que cette cohorte fume davantage

que la population américaine, ce qui pourrait justifier en partie cette augmentation du risque.

Une étude de mortalité a été effectuée en France en 1993 afin d'évaluer les risques de cancer après exposition aux fumées de soudage d'acier inoxydable, contenant du chrome et du nickel. (101) Le ratio de mortalité par cancer du poumon pour les soudeurs est plus élevé pour ceux travaillant l'acier doux que ceux travaillant l'acier inoxydable. Ce ratio semble augmenter avec la durée d'exposition et le temps depuis la première exposition. L'amiante, étudié d'abord comme exposition principale, et le tabagisme sont des facteurs de confusion qui ont été tenus en compte durant les analyses. Les données sur le tabagisme de 87% de l'échantillon à l'étude ont été recueillies grâce aux fichiers médicaux, ce qui en fait des données importantes, mais imprécises. Les auteurs supportent la conclusion de nombreux autres chercheurs, qui attribuerait une augmentation du risque de cancer du poumon de 30% à 40% chez les soudeurs. (46, 108)

Une méta-analyse de 1994, en collaboration avec le CIRC (101), a analysé quelques études portant sur l'exposition aux fumées de soudage d'acier inoxydable, contenant du chrome et du nickel, et le cancer du poumon. Cinq études tenant compte de la présence d'amiante et de l'intensité de tabagisme ont été retenues. L'estimation du risque relatif calculé, en agrégeant ces études, est de 1,94 (IC 95%=1,28-2,93), ce qui suggère une relation causale entre le soudage d'acier inoxydable et le cancer du poumon. Après coup, une plus importante méta-analyse a été effectuée en élargissant les catégories d'expositions (soudeurs en général, soudeurs de chantier naval, d'acier doux ou d'acier inoxydable). (109) Une augmentation du risque de cancer du poumon a été observée pour chacune de ces catégories, le risque plus élevé allant aux soudeurs d'acier inoxydable et d'acier doux. Dix ans plus tard, une mise à jour de cette méta-analyse a été publiée, avec des résultats assez semblables à ceux de la première publication. (106) Dans les deux cas, les auteurs suggèrent que cette augmentation de 30% à 40% du risque de cancer pourrait être expliquée, en partie, par la présence importante d'amiante ainsi qu'une consommation excessive de tabac chez les sujets, comparativement à la population générale. L'impact de ces variables de confusion reste, pour la plupart des études recensées, plutôt dur à évaluer. Les informations sur la présence d'amiante sont souvent insuffisantes, tandis que pour les quelques études cas-témoins où cette information est disponible, le risque relatif disparaît

souvent après ajustement. Par contre, cet excès de risque ne serait probablement pas dû à la présence de chrome et de nickel dans les fumées de soudage, le risque relatif après exposition aux fumées d'acier inoxydable n'étant pas plus élevé.

En 1996, une cohorte de 10059 travailleurs du métal fut étudiée en comparant les taux de mortalité au registre des cancers du Danemark d'abord (103), puis en comparant quelques cas décédés à des référents dans une étude cas-témoins nichée. (104) La présence d'amiante et le tabagisme étant pris en compte, les auteurs ont découvert un excès de risque d'environ 40% pour les travailleurs employés comme soudeurs. Par contre, il semble y avoir des incohérences dans l'estimation du risque selon l'intensité et la latence. Dans l'étude cas-témoin nichée, différents rapports de cote sont calculés selon la prédominance du métal soudé. Une tendance croissante est observée jusqu'à 15 années d'exposition cumulative, autant pour le soudage d'acier doux que le soudage d'acier inoxydable. Pour ces deux analyses d'une même cohorte de travailleurs, les auteurs arrivent à la conclusion que le soudage est associé à une augmentation du risque de cancer du poumon. Une autre mise à jour a été effectuée quelques années plus tard, avec des résultats assez semblables à ceux de la première analyse. (107) Les auteurs n'ont pas trouvé de différence dans le risque pour les soudeurs d'acier inoxydable, comparativement aux soudeurs d'acier doux.

Études concernant le soudage dans les chantiers navals

Quelques études se sont penchées principalement sur les expositions aux fumées de soudage générées dans les chantiers maritimes. Ces lieux de travail peuvent être plus à risque que d'autres (endroits plus confinés, présence importante d'amiante, moins bonne aération, etc.). Ces quelques raisons, en plus d'une main-d'œuvre importante et stable, favorisent la mise en place d'étude de cohorte dans ces milieux de travail. (110-113)

Une importante cohorte de travailleurs de chantiers navals est suivie en Norvège depuis le début des années 1970. Une première analyse, sur des soudeurs exposés durant au moins dix ans, a révélé quelques cas en excès de cancer du poumon, mais cette différence est non significative (taux d'incidence standardisé de 1,55, IC 95%=0,74-2,84). Seulement les soudeurs exposés durant au moins 30 ans présentent une incidence de cancer du poumon plus élevée. (110)

Quelques années plus tard, une autre étude, par le même auteur, a analysé un plus grand nombre de travailleurs de ce chantier, avec des résultats assez semblables. Les soudeurs avec le plus d'expérience ont un risque relatif de 2,00 (IC 95%=0,60-6,63) comparé aux plus jeunes travailleurs. (111) Les employés de ce chantier ont été exposés, durant leur travail, à des doses élevées de fumées de soudage, ainsi qu'à l'amiante. Grâce à quelques sondages, les auteurs sont en mesure d'affirmer que cette cohorte fume davantage que la population norvégienne en général.

Tous les employés engagés entre 1950 et 1964 d'un chantier naval de la Garde côtière américaine ont été suivis jusqu'en 2001. (112) Une présence importante d'amiante fait partie des expositions présentes pour la plupart des travailleurs. En considérant les 20 principales catégories d'emploi, les auteurs ont remarqués une augmentation de 26% du risque de cancer du poumon (IC 95%=1,12-1,41). Par contre, lorsque l'analyse est restreinte aux soudeurs, le ratio de mortalité est encore plus élevé (ratio de mortalité standardisé 1,34, IC 95%=1,07-1,65). Aucune information n'est disponible sur les habitudes de tabagisme.

Une autre étude de cohorte de travailleurs de chantiers maritimes a été amorcée en 1952 à Portsmouth. (113) Au moins la moitié des travailleurs ont été exposés à des doses de fumées de soudage allant de basses à élevées ainsi qu'à une présence importante d'amiante. L'exposition principale étudiée était les radiations, alors que les fumées de soudage étaient traitées comme facteur de confusion. La présence de fumée de soudage était assez corrélée avec celle de l'amiante, mais ne modifiait pas vraiment l'estimation du risque de cancer du poumon, peu importe l'intensité d'exposition.

Études concernant la profession de soudeur

Le type d'étude où l'on retrouve le plus de références aux expositions aux fumées de soudage est les études de type professionnelles, où le fait de travailler comme soudeur est l'élément d'exposition principal. Le design de ce type d'étude est souvent la cohorte car elle se prête bien à l'analyse de plusieurs types de cancer chez un même groupe de travailleurs. (114-124)

Une importante étude cas-témoins a été menée en Illinois, basée sur les données du registre d'état des cancers. (114) L'étude examinait le risque sur plusieurs sites de cancer ainsi que plusieurs professions. Les soudeurs, souvent plus jeunes et consommant plus de tabac que la population générale, ont un risque accru de cancer du poumon.

Une autre étude provenant de l'Ohio s'est penchée sur les causes de mortalité d'une cohorte travaillant dans une usine d'assemblage automobile. (115) Le ratio de mortalité, toutes causes confondues, est inférieur à celui de la population de l'État, suggérant un important « effet du travailleur en bonne santé » (*healthy-worker effect*). Malgré ce biais important soulevé par les auteurs, les travailleurs qui pratiquent le soudage, dans cette usine, présentent plus de risques de cancer du poumon que les autres types de professions et ce risque semble aussi augmenter avec la durée d'emploi. Par contre, le tabagisme n'ayant pas été pris en compte, il se peut qu'une partie de l'élévation du risque de cancer lui soit attribuable.

Une cohorte historique de soudeurs de chaudière a été analysée en 1996 en Norvège, basée sur le registre national de cancer. (116) Un excès de cancer du poumon a été trouvé pour toutes les catégories de soudage. Cet excès ne semble pas être associé au soudage d'acier inoxydable, mais la présence d'amiante et le tabagisme sont des facteurs de confusion potentiels.

Une étude du même type, aux Pays-Bas, s'est intéressée à l'influence de divers facteurs (diète, habitudes de vie, historique d'emploi, etc.) sur le risque de cancer du poumon. (117, 125) À partir de questionnaires et d'évaluations d'experts, il a été possible de catégoriser l'exposition à quatre substances soupçonnées d'être cancérigènes, soit l'amiante, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les poussières de peinture et les fumées de soudage. Il y a une hausse assez importante du risque relatif chez les soudeurs, mais ce risque semble disparaître lorsqu'ajusté pour la présence d'amiante et les habitudes de tabagisme.

Un volumineux rapport a été publié par la suite, analysant les données de vingt années d'incidence de cancer par groupe de professions et dans quatre pays scandinaves. (118, 124) Cette étude recouvre donc plus de 10 millions de personnes âgées de 25 à 64 ans lors du recensement de 1970. Au-delà d'un million de cas incidents de cancer ont été diagnostiqués dans les années subséquentes et ont permis d'analyser le risque associé à une

cinquantaime de groupes d'emplois, dont le métier de soudeur. Une cohorte d'environ 45000 soudeurs a permis de déterminer que ceux-ci avaient un risque élevé de cancer du poumon, et ce, dans les quatre pays. Par contre, les auteurs remarquent aussi un risque élevé de mésothéliome, ce qui suggère une présence importante d'amiante parmi ces travailleurs.

Une étude cas-témoin provenant d'Argentine a pu regarder l'effet de certaines professions sur le risque de cancer du poumon. (119) L'information sur le sous-type histologique de la tumeur ainsi que sur les habitudes de tabagisme était disponible. Le risque, pour les soudeurs, ne semble pas plus élevé lorsque l'on considère tous les types de cancers. Par contre, en se concentrant uniquement sur les carcinomes épidermoïdes, le risque semble très élevé pour les travailleurs de l'industrie du métal, en particulier les soudeurs. Le tabagisme, dans cette étude, n'a pas un effet confondant substantiel.

Une étude du même genre, en Suède, a étudié les risques de cancer du poumon après exposition à certaines expositions professionnelles, dont les fumées de soudage et l'amiante. (120) L'intensité de chaque substance était évaluée par un hygiéniste et codée selon l'intensité et la probabilité de l'exposition. En contrôlant pour le tabagisme, les auteurs n'ont pas trouvé de risque significatif de cancer du poumon après exposition aux fumées de soudage. L'intensité ainsi que la durée de l'exposition ne semblent pas non plus influencer le risque de cancer dans cette étude.

Deux régions de l'Italie ont été examinées quant aux rôles de certaines professions dans l'évolution des cas de cancer du poumon. (121) Les participants étaient évalués en fonction d'emplois entraînant des expositions à certains carcinogènes. Dans l'analyse exploratoire, un rapport de cote élevé (et ajusté pour les habitudes de tabagisme) a été trouvé pour les soudeurs et plusieurs autres catégories d'emploi.

Une étude cas-témoins française a tenté d'étudier les associations possibles entre l'adénocarcinome et plusieurs facteurs (tabagisme, carcinogènes professionnels, etc.), en relation avec les autres sous-types histologiques. (122) Les cas d'adénocarcinomes étaient comparés avec des types de cancer du poumon différents provenant de deux hôpitaux universitaires. Des associations significatives ont été trouvées entre la survenue d'adénocarcinome et une exposition aux fumées de soudage, dans l'ensemble de l'échantillon de population ainsi que dans le sous-groupe de fumeur. Certains facteurs,

comme le tabagisme et quelques expositions professionnelles, semblent avoir plus d'influence sur l'incidence d'adénocarcinome que sur les autres sous-types histologiques. L'étude sur les professions et le cancer en Angleterre s'intéresse à la fraction attribuable à certaines professions sur plusieurs types de cancer. (123) Les auteurs estiment qu'entre 5% et 20% des cas de mortalité par cancer du poumon sont attribuables aux expositions professionnelles. De ces professions, le métier de soudeur semble être une cause importante du cancer du poumon, à cause principalement des fumées de soudage.

Conclusions

À la lumière des informations de cette revue de la littérature, nous pouvons conclure que les preuves liant les fumées de soudage avec le cancer du poumon ne sont pas concluantes. La plupart des études où diverses associations positives ont été trouvées, la confusion résiduelle cachée par la présence d'amiante dans l'environnement de travail ou par le tabagisme ne peut être écartée définitivement.

3. OBJECTIFS

L'objectif principal de la présente étude est d'examiner le rôle étiologique d'une exposition aux fumées de soudage sur le risque de cancer du poumon, dans une grande variété d'emploi et de conditions de travail, tout en contrôlant assidument pour plusieurs facteurs de confusion, incluant des variables sociodémographiques, la présence d'amiante et l'historique de tabagisme. Le modèle de cette analyse provenant de deux études cas-témoins nous permet aussi d'explorer ces associations sous différents angles.

Premièrement, il sera possible d'examiner le lien entre la profession de soudeur et le risque de cancer du poumon, afin de comparer ce risque avec les résultats de plusieurs études de cohorte. Ensuite, il sera possible de vérifier l'effet des fumées de soudage, avec ou sans co-exposition de certains métaux lourds, dont l'acier inoxydable, le nickel, le chrome et le cadmium. Finalement, il sera possible d'explorer le potentiel de modification de la mesure d'effet, plus précisément l'effet combiné d'une exposition aux fumées de soudage et à la fumée de tabac, en comparaison avec les non-fumeurs et ceux jamais exposés aux fumées de soudage.

4. MÉTHODOLOGIE

Présentation

Cette présente étude fut réalisée à partir de deux études cas-témoins basées sur la grande population montréalaise (environ 2,7 millions et 3,1 millions d'habitants en 1979 et 1996, respectivement) dans le but d'examiner le rôle de nombreuses expositions professionnelles et d'habitudes de vie avec le risque de développer le cancer du poumon. La première étude (Étude I) fut menée entre 1979 et 1986 et incluait des hommes âgés de 35 à 70 ans présentant, chez les cas, un cancer parmi l'un des 19 sites répertoriés. Il s'agit d'une étude sur plusieurs sites de cancer, dont un des buts était de générer des hypothèses sur des substances cancérigènes insoupçonnées. Pour notre analyse, comme le risque calculé concerne uniquement les cas de cancer du poumon, nous avons créé un groupe contrôle distinct constitué de cas de cancer provenant de sites différents. La deuxième étude (Étude II) fut réalisée entre 1996 et 2001 et incluait cette fois des hommes et des femmes âgés de 35 à 75 ans diagnostiqués d'une tumeur au niveau des poumons. La population montréalaise, d'origines diverses, est composée d'environ 2/3 de descendants de colons français. Le deuxième groupe en importance est d'origine britannique, le reste étant composé d'un mélange de diverses ethnies, principalement Italiens, Juifs, Grecs, Portugais et Haïtiens. Tous les participants étaient résidents canadiens et donnèrent une approbation de consentement écrite au moment de l'entrevue. Compte tenu de la très faible prévalence des fumées de soudage chez la population féminine de l'Étude II (0,9% et 1,2% pour les fumées de soudage au gaz et à l'arc, respectivement), nous avons décidé de n'inclure que les hommes dans l'analyse.

Sélection des cas

Les cas ont été sélectionnés dans les 18 principaux hôpitaux de la grande région montréalaise et présentaient tous des cas incidents, nouvellement diagnostiqués de cancer du poumon et classés selon le code 34 de la classification internationale des maladies oncologiques (ICD-O 34). En second lieu, le sous-type histologique des tumeurs étudiées a été classifié d'après les recommandations du rapport technique 31 de l'OMS-CI. (126) Pour l'Étude I, les cas étaient des hommes atteints d'une tumeur maligne au poumon, mais comme il s'agissait, dans le design, d'une étude multisite, les sujets de cette étude

pouvaient avoir une tumeur à l'un de ces sites : œsophage, estomac, intestin grêle, colon, rectum, foie, vésicule biliaire, pancréas, poumon, péritoine et plèvre (mésothéliome), peau, prostate, pénis, testicules, vessie, rein, œil, tissu lymphoïde et myélome multiple. Une partie de ce groupe de sujets serviront à créer un groupe témoin différent. L'exclusion de certains sites (cerveau, larynx, etc.) résultait de décisions tant pratiques qu'involontaires. Les cas de l'Étude II étaient uniquement atteints de tumeurs au niveau du poumon ou de mésothéliome.

Les cas âgés de moins de 35 ans étaient exclus, car il aurait été alors peu probable que leur cancer soit causé par une exposition professionnelle. D'un autre côté, les individus trop âgés (70 ans pour l'Étude I, 75 ans pour l'Étude II) auraient eu plus de difficultés à fournir un historique d'emploi fiable. De plus, le cancer survenant à un âge avancé a plus de chance qu'un cancer apparaissant en milieu de vie d'être causé par l'effet cumulatif des expositions environnementales éprouvées durant leur vie qu'à une exposition professionnelle plus ponctuelle. (127) Le fait que les hôpitaux sélectionnés desservent une grande population concentrée et que la presque totalité (98%) des cas de cancer du poumon de cette région soit diagnostiquée dans l'un de ces établissements assure une bonne couverture aux études. Les nouveaux cas étaient identifiés grâce au registre des tumeurs de chaque hôpital ainsi qu'en gardant une communication constante avec les départements de pathologie de chaque établissement. (128)

Sélection des témoins

Les deux études comportent un groupe témoin issu de la même population source que les cas, mais ne présentant pas la maladie d'intérêt. Ces personnes ont été sélectionnées par hasard à l'aide de la liste électorale et appariées aux cas selon les distributions d'âge, de sexe ainsi que de districts électoraux provenant des listes disponibles (environ 40 000 individus par districts). Ces données électorales sont compilées fréquemment grâce à un recensement minutieux où sont gardées en mémoire diverses informations de base sur la totalité des citoyens canadiens en âge de voter. Comme l'Étude I incluait différents types de tumeurs, nous avons pu constituer un groupe témoin additionnel constitué de 1349 patients atteints d'un cancer autre que celui du poumon. Ces témoins devaient avoir été

diagnostiqués dans les mêmes hôpitaux et la même année que les cas de cancer du poumon et sélectionnés afin qu'aucun des 19 autres sites de tumeurs ne compte pour plus de 20% de la totalité du groupe témoin. De plus, les sites contigus au poumon étaient exclus. Ce groupe témoin cancer était réparti, entre ces sites : colorectal (n=261), vessie (n=243), prostate (n=162), estomac (n=147) et rein (n=100).

Taux de participation

Pour l'Étude I, un total de 4576 cas de différents types de cancer fut identifié, incluant 1082 cas de cancer du poumon. Le taux de réponse chez les cas en général fut de 82% (3730) et de 79% (857) uniquement pour le cancer du poumon. Le groupe contrôle populationnel était de 740 au départ, pour finir avec un taux de participation de 72 % (533) ayant complété le questionnaire et l'entrevue. Pour l'Étude II, un total de 884 cas ainsi que 1294 témoins de sexe masculin ont été initialement contactés, pour ne conserver à la fin des entrevues que 83% (738) cas et 70% (899) témoins. Pour la première étude, 71% des cas et 82% des témoins ont répondu par eux-mêmes, tandis que pour l'Étude II, ces taux se situent autour de 60% et 90%, respectivement pour les cas et les témoins. Le reste du temps, l'entrevue avait lieu avec le plus proche membre de la famille du participant. Pour l'Étude II seulement, deux cas ainsi que cinq témoins ont été retirés de l'analyse parce que plusieurs données importantes sur le tabagisme étaient manquantes. Voir la Figure 3 pour une illustration des différentes étapes menant à la création de l'échantillon final.

Collecte de données

Un consentement libre et éclairé a été obtenu avant de commencer le processus d'entrevue. Après un premier questionnaire préliminaire envoyé par la poste, les participants (ou un proche) étaient recontactés par un intervieweur dûment entraîné pour ce type d'étude afin de procéder à l'entrevue. La première partie de la rencontre consistait en un questionnaire structuré portant sur les habitudes de vie et les données sociodémographiques. La suite de l'entretien était semi-structurée et servait à établir un historique détaillé et complet des emplois occupés dans le passé. (129) L'entrevue entre l'intervieweur et le participant avait,

comme objectif principal, de prendre en compte la totalité de l'expérience professionnelle et retranscrire le tout de manière cohérente, en un portrait fidèle à la réalité. Pour chaque emploi, une attention particulière était donnée à l'environnement de travail, aux tâches principales et secondaires et à toutes autres informations qui pourraient donner des indices sur les expositions professionnelles et leur intensité (entretien de l'équipement, utilisation d'équipement protecteur et activités des collègues). Lorsque pertinent, un sous-questionnaire spécialisé était utilisé pour certaines industries, comme le milieu du soudage, des fermes, de l'aéronautique, etc. (Voir en Annexe 1 le questionnaire spécialisé pour le soudage).

Évaluation des expositions

Une équipe de chimistes et d'hygiénistes industriels, « aveugle » par rapport à la maladie chez les cas, a examiné chaque questionnaire et a codé chaque emploi selon une liste de 294 expositions potentielles créée par Jack Siemiatycki, Louise Nadon, Ramzanali Lakhani, Denis Bégin et Michel Gérin. Cette liste contenait les termes « fumées de soudage au gaz » et « fumées de soudage à l'arc électrique », qui sont le centre d'intérêt cette étude. Les descriptions retenues par les chimistes et hygiénistes sont les suivantes. Pour l'exposition à la fumée de soudage au gaz : « toutes fumées générées durant la jonction ou le coupage de métaux utilisant la technique de soudage au gaz. Dans cette opération, la chaleur de fusion est obtenue par combustion d'oxygène et un autre gaz, comme l'acétylène, le méthylacétylène-propadiène (MAPP), le propane ou l'hydrogène. Les fumées de soudage au gaz incluent les fumées issues des métaux de base et d'apport, les fumées provenant des flux ainsi que des combustibles utilisés. » Pour la fumée de soudage à l'arc : « toutes fumées générées durant la jonction ou le coupage de métaux utilisant la technique de soudage à l'arc. Dans cette opération, la chaleur de fusion est obtenue en créant un arc électrique entre l'électrode et la pièce de métal. Les fumées de soudage à l'arc incluent les fumées issues du métal de base, des électrodes et leur revêtement (qui peut contenir des composés organiques ou inorganiques, ainsi que leurs produits de décomposition). » (127) En tout, cette équipe de spécialistes a travaillé plus de 40 années-personnes sur ces deux études, à partir du développement initial de la méthodologie jusqu'au codage final de

chaque exposition. L'attribution du niveau d'exposition adéquat dépendait de plusieurs facteurs, incluant la qualité de l'entrevue ainsi que les recherches effectuées chez plusieurs employeurs importants de la région. Le résultat final était attribué à chaque participant après consensus chez les divers spécialistes.

Pour chaque substance considérée comme étant présente dans les emplois répertoriés, les codeurs attribuaient trois dimensions à cette exposition : la confiance que l'exposition attribuée soit vraiment présente dans l'emploi en question (possible, probable, définitif), la fréquence de l'exposition dans une semaine normale de travail (<5%, 5-30%, >30% du temps) et le niveau relatif de concentration de la substance (bas, moyen, élevé). Par contre, il ne fut pas possible d'associer une mesure précise (en mg/m^3) des fumées de soudage étudiées avec le niveau relatif estimé. Même si deux participants occupaient un poste semblable, cela ne garantissait pas pour autant que les expositions codées fussent automatiquement les mêmes, car une grande attention était portée aux détails évoqués par le sujet ainsi qu'aux caractéristiques locales de chaque entreprise. Il y a plusieurs exemples de travailleurs occupant des postes différents, mais ayant des expositions assez semblables et vice-versa. (130)

Analyses statistiques

L'objectif des analyses était d'estimer le risque de cancer du poumon associé aux expositions reliées au soudage. Les différentes analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel *PASW Statistics 18.0* (SPSS). Nous avons utilisé la régression logistique inconditionnelle afin d'estimer des rapports de cotes (RC) ainsi que des intervalles de confiance à 95% (IC) pour les deux expositions principales, et ce, pour chaque étude. Les données récoltées nous permettaient aussi de contrôler pour plusieurs facteurs de confusion : l'âge, le groupe ethnolinguistique d'appartenance (Français, Anglais, Autres), le niveau d'éducation atteint, le statut socioéconomique (mesuré par le revenu familial), le statut du répondant (soi-même, mandataire) ainsi que le statut de fumeur. L'historique de tabagisme a été modélisé dans un index complet (*Comprehensive Smoking Index, CSI*), développé par Leffondre et ses collègues à partir des données de l'Étude II. (131, 132) Cet index prend en considération trois dimensions importantes liées au tabagisme, soit le statut

de fumeur (variable dichotomique, si le fumeur a déjà fumé ou non), le logarithme naturel de l'intensité cumulative de tabagisme exprimé en nombre de cigarettes-années et la durée de cessation du tabagisme (variable continue), et les transforme en une seule mesure globale. Les sujets ayant fumé moins de 100 cigarettes durant leur vie ou ayant arrêté il y a plus de vingt ans étaient considérés non-fumeurs. Lorsque comparée à d'autres approches, cette méthode, qui tient compte des dimensions qualitative et quantitative du tabagisme, s'est avérée optimale pour modéliser l'association entre le cancer du poumon et les données disponibles sur l'historique de tabagisme.(131)

Les expositions principales, soit les deux types de fumées de soudage, ont été classées dans l'une ou l'autre de ces trois catégories en fonction de la probabilité, de la durée, de la temporalité ainsi que de l'intensité de l'exposition. La première catégorie, « non-exposé », comprend aussi les personnes dont la probabilité d'une réelle exposition était classée « possible » par les hygiénistes, en plus de ceux exposés uniquement durant les cinq dernières années avant le recrutement. Les personnes restantes, dont le niveau d'exposition était supérieur à celui retrouvé dans un environnement naturel, étaient classées dans la catégorie « exposé », qui fut par la suite sous-divisée en deux : les expositions substantielles et non substantielles. Les personnes exposées substantiellement étaient celles avec une concentration moyenne ou élevée d'exposition, durant plus de 5% de leur semaine de travail et pendant cinq ans ou plus.

De toutes les co-expositions présentes dans le milieu du soudage, une seule a été retenue comme variable de confusion dans le modèle statistique final. L'amiante, en plus d'être un agent cancérigène du Groupe 1 par le CIRC (25), est présent depuis longtemps dans l'environnement de soudage. Les premières électrodes commercialisées contenaient des traces d'amiante, mais c'est surtout dans l'environnement de travail que l'amiante était présent. Dans les lieux exigus, en particulier les chantiers navals, l'amiante était souvent présent et pouvait influencer la santé des travailleurs. (4) Le rôle de l'amiante, comparé avec certaines autres co-expositions comme le nickel et le chrome, semble différent et un peu plus en retrait des fumées issus directement de l'activité de soudage. C'est pourquoi l'amiante (exposé ou non-exposé) fût considéré comme une variable de confusion dans le modèle statistique. Dans la plupart des études antérieures publiées sur le sujet, advenant

l'inclusion de facteurs de confusion professionnels, l'amiante était très souvent le premier considéré.

Analyses stratifiées

Analyse selon la catégorie d'emploi

Les premières grandes études de cohorte ou portant sur les statistiques de mortalité ne mesuraient ou n'estimaient pas les expositions elles-mêmes. À la place, l'appartenance à une catégorie d'emploi particulière était considérée comme le facteur d'exposition ou de non-exposition. Une analyse a donc été effectuée en considérant les deux catégories d'emploi, selon le code CCDO (Canadian Classification and Dictionary of Occupations) où l'on retrouvait le plus d'expositions codées à un des deux types de fumées de soudage. (133) Les catégories « Soudeur et découpeur » ainsi que « Tuyauteur et plombier » sont celles où l'exposition était la plus fréquente. Pour chaque Étude I et II, une première analyse a été effectuée pour ceux ayant déjà travaillé dans un ou l'autre de ces emplois, suivi d'une analyse qui considérait seulement ceux ayant travaillé plus de 10 ans dans l'emploi en question.

Analyses spécifiques selon certaines variables sociodémographiques

Quelques analyses ont aussi été effectuées en stratifiant pour quelques variables sociodémographiques. L'effet de l'appartenance ethnolinguistique (française ou autre), le statut de répondant (par soi-même ou par un substitut) ainsi que l'effet de l'âge du participant (plus jeune ou plus vieux que l'âge médian de 62 ans) ont été quantifiés afin de vérifier s'il existait une différence au niveau de l'exposition entre ces groupes de personnes.

Analyse selon l'intensité de tabagisme

Pour procéder aux analyses stratifiées, nous avons regroupé les personnes n'ayant jamais fumé avec les fumeurs légers (valeur CSI inférieure ou égale au 25^e percentile), tandis que les moyens et gros fumeurs étaient ceux avec une valeur de CSI supérieure à ce percentile.

Nous avons aussi évalué s'il y avait présence de modification d'effet selon la présence ou l'absence des expositions principales et du tabagisme.

Analyse selon le sous-type histologique

Une analyse plus approfondie a été effectuée en tenant compte des différents sous-types histologiques. Pour les deux études, plusieurs analyses ont été effectuées entre les témoins et les différents cas de carcinome à petites cellules, de carcinome épidermoïde, d'adénocarcinome ou de carcinome à grandes cellules, en fonction de l'exposition à n'importe quelle intensité de fumées de soudage. En combinant les deux études par la suite, il a été possible de faire une analyse plus précise en considérant les personnes exposées substantiellement.

Analyses spécifiques selon certaines co-expositions professionnelles

La présence ou l'effet de certaines co-expositions professionnelles ont aussi été évalués dans les analyses. Ces produits proviennent d'une liste, choisie a priori comme étant des substances cancérigènes soupçonnée ou étant liée de près ou de loin à l'environnement de soudage, comme le nickel, le chrome, le cadmium, l'amiante, le fer ainsi que les poussières d'acier. Comme ces substances font partie intégrante de l'activité de soudage et qu'on ne s'attend pas nécessairement à les rencontrer séparément des fumées de soudage, on peut donc difficilement isoler l'effet de chaque constituant de ces fumées. C'est pourquoi, dans certaines analyses plus spécialisées, il est possible de séparer les personnes principalement exposées aux fumées de soudage d'acier inoxydable ou celles exposées au chrome, au nickel et au cadmium, des substances cancérigènes classées « Groupe 1 » par le CIRC.

Jumelage des témoins et des études

Dans l'Étude I, les groupes témoins (population et cancer) ont d'abord été analysés séparément, puis combinés si les résultats étaient assez semblables. Il existe plusieurs arguments pour et contre le fait d'utiliser chacun de ces groupes témoins et il est difficile d'affirmer quel groupe est plus valide que l'autre. (134, 135) Comme les intervalles de

confiance provenant des analyses avec chaque groupe témoin se chevauchent, nous ne voyons pas de problème majeur à les combiner. Pour éviter de donner trop de poids aux témoins cancer, nous avons créé un nouveau groupe qui consistait en l'ensemble des témoins issus de la population (533) ainsi que du même nombre de témoin pris au hasard parmi les 1349 sujets atteints d'un différent type de cancer. Le nouveau groupe témoins de l'Étude I, pour l'analyse combinée, comportait donc 1066 participants, à pondération égale. En plus des deux études distinctes, nous avons pu procéder à une analyse combinée après avoir vérifié que les résultats avaient une amplitude semblable et semblaient pointer dans la même direction. Une nouvelle variable « étude » fut ajoutée à cette analyse combinée.

5. RÉSULTATS

Caractéristiques sociodémographiques

Le Tableau 1 montre la distribution des cas et des témoins en fonction de différentes caractéristiques sociodémographiques. La distribution de l'âge est assez similaire entre les différents groupes étudiés. L'origine ethno-linguistique est en très grande partie française dans les deux études, le deuxième groupe en importance étant l'anglais. Dans l'Étude II, le pourcentage d'anglais diminue légèrement au profit d'une plus grande diversité ethnique, signe du changement des politiques d'immigration au Québec. L'indicatif socioéconomique, principalement le niveau d'éducation ainsi que le revenu, montre que le groupe des cas est généralement moins éduqué et a un revenu inférieur aux différents groupes témoins. L'information concernant le revenu familial médian des participants aux études provient des données du recensement, en dollars canadiens. Les entrevues ont été réalisées avec un proche (mandataire) plus souvent chez les cas que les témoins. Finalement, il existe une plus grande proportion de fumeurs chez les cas et ils sont en général de plus gros fumeurs. Il est aussi à noter qu'il y a une diminution substantielle de la proportion des fumeurs toujours actifs entre les deux études, suggérant une importante réduction de consommation de tabac depuis quelques décennies, en particulier dans le groupe témoin. Toutes ces variables ont été prises en ligne de compte dans les analyses subséquentes.

Prévalence des expositions et co-expositions

Le Tableau 2 montre la distribution des participants en fonction des différentes dimensions liées à l'exposition aux fumées de soudage, soit la confiance que l'exposition attribuée soit vraiment présente dans l'emploi en question (possible, probable, définitif), la fréquence de l'exposition dans une semaine normale (<5%, 5-30%, >30% du temps) et le niveau relatif de concentration de la substance (bas, moyen, élevé). Il n'y a pas de différence majeure dans ces indicateurs d'exposition entre les cas et les témoins ni entre les deux types de soudage. On remarque une plus grande proportion de fréquence d'exposition élevée (plus de 10 heures par semaine) ainsi qu'un degré de confiance plus certain chez les participants exposés aux fumées de soudage à l'arc.

Le Tableau 3 décrit la distribution des cas et des témoins en fonction de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, une fois que les personnes exposées initialement, mais

dont le degré de confiance en l'exposition est plutôt incertain, aient été classées comme non exposées. Pour les deux études, la répartition de l'exposition entre les cas et les témoins est assez semblable, avec une légère surreprésentation d'exposition à un niveau substantiel pour les cas. L'exposition aux fumées de soudage à n'importe quelle intensité touche entre 11,5% et 18,5% des sujets. Environ 5% de la population à l'étude est exposée aux fumées de soudage au gaz et à l'arc à un niveau substantiel. Comme dit précédemment, une exposition substantielle signifie une concentration moyenne ou élevée de fumées de soudage, durant plus de 5% de leur semaine de travail et pendant cinq ans ou plus.

En ce qui concerne le chevauchement des différents types de fumées, on voit qu'un nombre important de participants ont été exposés aux deux types durant leur vie. La Figure 4 montre le nombre de sujets exposés uniquement à l'un ou l'autre type de fumée ainsi que ceux exposés à un mélange des deux durant leur carrière. Dans l'Étude I, 43% des personnes ont été exposées aux deux types, tandis que pour l'Étude II, 54% l'ont été. Pour beaucoup de participants, cette situation peut s'expliquer par le nombre élevé d'emplois gagnés et perdus au fil des années, où les deux techniques de soudage auraient pu se chevaucher d'un emploi à l'autre. Un tel chevauchement fait en sorte que l'effet recherché en isolant chaque type de fumées de soudage risque d'être atténué. En plus des fumées intrinsèques de soudage, les soudeurs sont exposés à plusieurs autres types de fumées, gaz et radiations.

Profil d'emploi

Les participants et leurs emplois retenus pour l'analyse recouvrent une période allant de 1945 à 1996, en combinant les deux études. Les types d'industries les plus fréquents dans la région métropolitaine sont : « Service et ventes, Finance, Transport, Construction et Fabrication ». Il existe un nombre important d'industries ferroviaires, maritimes et aéronautiques qui emploient beaucoup de travailleurs de la région depuis plusieurs décennies. (127) Le Tableau 4 présente les principales catégories d'emplois occupés par les participants exposés aux fumées de soudage. Chaque emploi codé provient du système de classification professionnel et industriel canadien. (133, 136) Il est à noter ici que le dénominateur est le nombre total d'emplois, chaque personne pouvant avoir occupé plusieurs emplois durant leur vie active.

Les expositions aux fumées de soudage au gaz ont eu lieu dans un éventail plutôt large d'emplois. Les trois principales catégories d'emplois, « Mécanicien et restaurateur de véhicules », « Soudeur et découpeur » et « Tuyauteur, plombier et emplois reliés », ne comptent que pour 34% des emplois totaux, le reste étant éparpillé dans de nombreuses autres catégories d'emploi. Un grand nombre d'études sur les risques de cancer dans le milieu du soudage considérait, comme facteur d'exposition, le fait d'avoir travaillé comme soudeur un certain nombre d'années. Le Tableau 5 montre une analyse qui va dans le même sens que ces études professionnelles, c'est-à-dire que les personnes ayant déjà travaillé comme « Soudeur et découpeur » ou « Tuyauteur et plombier », les deux types d'emploi où l'on retrouve le plus de soudage, sont considérées comme exposées. Il n'y a pas d'association statistiquement significative dans les deux études ni pour les soudeurs, ni pour les tuyauteurs. Par contre, en combinant les deux analyses, on remarque une augmentation du risque pour les soudeurs (RC=1,48; IC 95%=0,98-2,25) mais pas pour les tuyauteurs et plombiers (RC=0,80; IC 95%=0,47-1,36). Le risque ne semble pas accru non plus pour les personnes ayant travaillé dix ans et plus dans ces mêmes emplois.

Risque de cancer du poumon lié à l'exposition aux fumées de soudage

Étude I : témoins-cancer et témoins-population

Le Tableau 6 présente les rapports de cote en utilisant les deux différents groupes témoins issus de l'Étude I. Dans un premier temps, les rapports de cote ont été ajustés seulement pour l'âge (données brutes) et ensuite pour plusieurs autres variables (appartenance ethnolinguistique, niveau d'éducation, statut de répondant, index cigarette, exposition à l'amiante). Des tendances similaires ont été observées en utilisant les témoins issus de la population et ceux du groupe cancer. Les résultats pour chaque type de fumée de soudage, bien que légèrement supérieurs en prenant le groupe témoin populationnel, pointaient dans la même direction et avaient une ampleur semblable. Malgré tout, les différences de rapport de cote entre les deux groupes témoins restaient à l'intérieur de l'intervalle de confiance de 95% calculé. Il a donc été possible de combiner les deux groupes témoins en gardant un certain équilibre, c'est-à-dire un nombre égal de témoins provenant de chaque groupe (533). Une telle manipulation nous a permis de calculer des rapports de cote un peu plus

précis et réduire légèrement les intervalles de confiance. Une augmentation du risque de cancer du poumon, après exposition à la fumée de soudage au gaz, a été détectée (RC=1,42; IC 95%=1,02-1,96). L'exposition à la fumée de soudage à l'arc, dans cette étude, n'augmente pas le risque de cancer du poumon.

Étude I, Étude II et analyse combinée

Le Tableau 7 présente un résumé des différents risques de développer le cancer du poumon après une exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc pour l'Étude I, l'Étude II et une analyse combinée des deux. En plus d'ajuster pour les mêmes variables de confusion que dans les études, nous avons ajusté pour l'appartenance à l'une des deux études dans l'analyse combinée. Les rapports de cote sont plus élevés dans l'Étude I par rapport à l'Étude II pour les deux types de fumées de soudages mais, comme les résultats suivent une tendance similaire et les intervalles de confiance se recoupent, nous avons pu combiner les deux études. Ces résultats ne démontrent qu'une très faible augmentation du risque de cancer du poumon, non statistiquement significative, pour les fumées de soudage au gaz (RC=1,13; IC 95%=0,90-1,42), mais pas pour le soudage à l'arc (RC=1,01; IC 95%=0,80-1,26).

Des rapports de cote du risque de cancer ont pu être calculés pour une exposition cumulative à deux catégories, un niveau substantiel et non substantiel (Tableau 6 et Tableau 7). En moyenne, environ 4% des participants ont été exposés à un niveau substantiel, c'est pourquoi les estimations de risque calculées sont un peu plus instables. On remarque une légère augmentation du risque dans le cas des fumées de soudage à l'arc, dans les deux études, mais cette différence n'est pas significative.

Durée de l'exposition

Des rapports de cote ont été calculés pour chacune des dimensions relatives à l'exposition, c'est-à-dire la durée, l'intensité, la fréquence par semaine et la concentration. Aucune de ces explorations n'a démontré de tendances significatives pour les fumées de soudage (données non présentées). À titre d'exemple, le Tableau 8 présente le rapport de cote du risque de cancer du poumon en fonction de la durée d'exposition aux deux types de fumées

de soudage, dans une analyse combinée des deux études cas-témoins. Aucun effet découlant de la durée d'exposition aux fumées de soudage n'a été découvert.

Estimation du risque spécifique, par sous-type histologique

Les rapports de cote de l'association entre l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc et quatre sous-types histologiques du cancer du poumon sont présentés dans les Tableaux 9 et 10. En regardant les résultats de l'Étude I, on voit que les participants exposés aux fumées de soudage au gaz ont un plus grand risque de développer un carcinome épidermoïde (RC=1,34; IC 95%=0,89-2,04) ou à petites cellules (RC=1,56; IC 95%=0,94-2,60), comparativement aux autres sous-types histologiques. L'association semble disparaître pour tous les sous-types dans l'analyse de l'Étude II et l'analyse combinée. Pour une exposition aux fumées de soudage à l'arc, on ne remarque aucune augmentation de risque statistiquement significative dans les deux études ainsi que dans l'analyse combinée. Il semble même y avoir une diminution de risque du carcinome à grandes cellules, surtout dans les résultats de l'Étude I.

Analyse de sensibilité pour le statut de répondant (mandataire)

La plupart des entrevues ont été complétées par le répondant lui-même, mais dans certains cas (22% des participants de l'Étude I, 23% de l'Étude II), il a fallu l'aide d'un membre de la famille pour recueillir les informations. Les entrevues ont plus de chances d'avoir été réalisées par un substitut chez les cas que chez les témoins. Afin de voir si les rapports de cote issus des informations provenant des deux sources diffèrent, nous les avons comparés dans le Tableau 11. Le risque de cancer du poumon semble légèrement plus élevé lorsque le répondant est un substitut pour les deux types de fumées, mais les intervalles de confiance se recoupent amplement. Pour vérifier si la qualité des données a été compromise par les répondants substitués, une analyse de sensibilité a été effectuée en restreignant l'exposition aux personnes ayant répondu par elles-mêmes. Comme il y avait très peu de différences entre les rapports de cote, avec et sans les répondants substitués (données non présentées), nous avons décidé de garder cette variable dans l'analyse.

Analyse en fonction de sous-groupes spécifiques

Afin d'évaluer un potentiel effet de modification pour certains sous-groupes d'une population, nous avons effectué une série d'analyses stratifiant la population en fonction de différentes caractéristiques (âge, ethnicité, tabagisme et certaines expositions professionnelles). Nous avons ainsi pu estimer les rapports de cote attribuables aux fumées de soudage dans chaque sous-groupe. Il est de notre savoir que ces analyses multiples de sous-groupes peuvent mener à des résultats faux positifs, statistiquement significatifs, mais c'est aussi une excellente opportunité afin de détecter un effet réel pour ces sous-groupes.

Appartenance ethnolinguistique

Montréal étant une ville majoritairement francophone, d'origine française, elle a aussi connu son lot d'immigration provenant de diverses régions du globe (Italiens, Juifs, Haïtiens, Indiens, etc.), en plus d'une cohabitation avec un nombre important d'anglophones d'origine européenne. Il y a une surreprésentation du groupe ethnolinguistique français chez les cas par rapport aux autres, dans les deux études. Nous avons voulu vérifier, en séparant le groupe français des autres dans le Tableau 12, s'il y avait une différence importante dans le risque de cancer. Les différences entre rapports de cote sont plutôt subtiles et les intervalles de confiance se chevauchent.

Effet de l'âge

Afin de vérifier s'il existe des différences majeures dans le risque de cancer du poumon par rapport à l'âge, nous avons effectué une analyse stratifiée par l'âge médian des participants des deux études. Le Tableau 13 présente les résultats des analyses pour chaque groupe d'âge, par types de fumées de soudage. Le risque de cancer du poumon semble moins élevé chez les personnes plus âgées et exposées à la fumée de soudage à l'arc, mais l'absence de risque n'est pas statistiquement significative. Comme il existe quand même une différence entre le pourcentage de chaque groupe d'âge et le statut de cas ou témoins, nous avons gardé cette variable comme facteur de confusion.

Modification de la mesure d'effet par le tabagisme

L'effet d'une exposition à la fumée de soudage au gaz et à l'arc a aussi été analysé séparément en fonction du tabagisme, soit chez les non-fumeurs (et fumeurs très légers ou ayant abandonné il y a plus de vingt ans) et les fumeurs. La raison d'inclure les fumeurs très légers (qui pourrait être comparable au fait d'être exposé passivement à la fumée de cigarette) était de tenter d'augmenter la puissance statistique. Les participants non-fumeurs se font très rares, en particulier chez les cas (1,5% de l'Étude I et 2,4% de l'Étude II). Le Tableau 14 montre les rapports de cote, pour l'analyse combinée, de l'exposition aux deux types de fumées de soudage, selon l'historique de tabagisme. Nous avons trouvé un rapport de cote beaucoup plus élevé chez les non-fumeurs que chez les fumeurs. Chez les non-fumeurs, le rapport de cote pour la fumée de soudage au gaz est (RC=2,78; IC 95%=1,66-4,65) et celui pour le soudage à l'arc est (RC=2,20; IC 95%=1,32-3,70). Ce risque semble disparaître chez les participants fumeurs. On observe aussi un risque accru chez les personnes exposées substantiellement, avec un intervalle de confiance statistiquement significatif, mais plutôt étendu. Cette tendance a d'abord été aperçue dans les deux études individuellement, quoiqu'avec un peu moins de précision. Les rapports de cote, chez les fumeurs uniquement, sont inférieurs à 1,0. Dans le cas des fumeurs exposés à la fumée de soudage à l'arc, cette association est significative (RC=0,79; IC 95%=0,63-1,00). On peut aussi voir ces tendances à la Figure 5 où sont représentés les rapports de cote à n'importe quelle exposition (trait noir) et à une exposition substantielle (trait rouge). On peut voir que, pour une même exposition, l'intervalle de confiance du rapport de cote provenant des non-fumeurs ne chevauche pas celui des fumeurs.

Le Tableau 15 analyse l'effet combiné d'une exposition aux fumées de soudage et à la fumée de tabac, en comparaison avec les non-fumeurs et ceux jamais exposés aux fumées de soudage. La force de la modification de l'effet, en prenant pour acquis qu'il n'y a pas de biais d'informations, est relativement faible. La force des preuves vues dans ce tableau est compatible avec une modification de l'effet de nature additive et sous-multiplicative. En considérant les limites des intervalles de confiance relativement larges, on ne peut pas exclure une modification de l'effet mesuré à une échelle multiplicative.

Analyses spécifiques pour certaines covariables professionnelles

Les fumées de soudage sont très complexes et dépendent d'une multitude de facteurs. Les Tableaux 16 et 17 examinent les multiples expositions aux fumées, poussières particules et autres éléments nocifs qu'un sujet aurait pu cumuler, pour chaque emploi, dans son environnement de travail. Il est important de noter que les proportions inscrites sont relatives au nombre d'emplois où l'exposition est présente, et non aux individus touchés. Il peut s'agir autant d'éléments faisant partie de la fumée en tant que telle, provenant par exemple du métal soudé, ou encore de l'environnement extérieur, comme l'amiante. Les poussières d'acier inoxydable sont plus souvent associées à la fumée de soudage à l'arc et tout le temps à la présence de nickel, pour chaque étude. Le fer est l'élément le plus souvent présent lors des opérations de soudage au gaz et à l'arc, tandis que l'acier doux et l'aluminium sont aussi des métaux courants dans ces activités de soudage. Comme il est difficile de cerner précisément l'effet de toutes les expositions associées au procédé de soudage, en partie à cause d'une puissance statistique non suffisante, nous avons tenté de cibler quelques substances déjà suspectées dans la littérature pour des analyses plus approfondies.

Acier inoxydable versus acier doux

Nous avons pu examiner, dans le Tableau 18, s'il y avait un risque accru de cancer du poumon chez les travailleurs ayant été exposés au soudage d'acier inoxydable, comparativement à ceux n'ayant jamais soudé ce métal. Les participants ayant soudé au gaz de l'acier inoxydable semblent plus à risque de développer un cancer du poumon (RC=1,24; IC 95%=0,82-1,87), comparé aux autres (RC=1,08; IC 95%=0,83-1,40). Des résultats semblables sont trouvés pour le soudage à l'arc. Par contre, cette légère élévation du risque est loin d'être statistiquement significative.

Co-exposition à certaines poussières de métaux cancérigènes

Nous avons aussi tenté d'analyser d'une façon plus précise, dans le Tableau 19, l'effet de la présence de certains métaux dans les fumées de soudage. Certains composés de chrome, le nickel et le cadmium sont trois substances classées comme étant « certainement

cancérogènes » par le CIRC (voir la Figure 6 pour visualiser la relation entre l'exposition aux fumées de soudage et la présence de trois métaux cancérogènes, le nickel, le chrome et le cadmium). Nous avons donc pu séparer nos cas et témoins en trois groupes; ceux exposés aux fumées de soudage, mais jamais exposés à aucun de ces métaux, ceux exposés aux fumées de soudage et à au moins un des trois métaux sélectionnés, et ceux exposés à un des trois métaux, mais non exposés aux fumées de soudage. Nous n'avons trouvé aucune association statistiquement significative parmi ces trois groupes. Par contre, il semble y avoir une élévation du risque détectée parmi ceux exposés aux fumées de soudage combinées aux composés de métaux, en plus d'un risque accru chez ceux exposés à un niveau substantiel.

6. DISCUSSION

Retour sur les résultats

Dans plusieurs études épidémiologiques, un excès de risque de cancer du poumon d'environ 30% à 40% a été observé chez des travailleurs ayant eu une exposition aux fumées de soudage (70, 78, 86, 95, 99, 103, 105-107, 109, 111, 112, 118, 124, 137, 138) Par contre, il peut être difficile de comparer directement ces études, compte tenu des énormes différences existant dans le type d'exposition, l'intensité, la durée, la méthode d'estimation de l'exposition et le manque d'ajustement pour les principaux facteurs de confusion comme le tabagisme et la présence d'amiante. Quelques études, après ajustement pour ces deux variables de confusion, rapportent des résultats quelques fois contradictoires. Certains auteurs sont arrivés à la conclusion que l'excès de risque est dû à la présence d'amiante ou du tabagisme (95, 96, 117, 120), tandis que d'autres indiquent que l'excès de risque ne peut pas être expliqué uniquement par leur présence. (99, 101, 103, 104)

Un nombre important des études de cohorte qui ont été recensées s'intéressent aux expositions aux fumées de soudage dont l'intensité pourrait être plus importante que dans la nôtre, où l'ensemble des participants étaient exposés à une gamme de concentration, de très légère à substantielle. Souvent, le chercheur qui envisage une étude de cohorte choisirait délibérément des lieux où la concentration et l'intensité des expositions sont connues comme étant élevées. Comparativement, notre étude a permis d'évaluer le risque associé à une exposition aux fumées de soudage de concentration plus variables et donc plus susceptibles de ressembler aux expositions typiques qu'aurait pu subir un travailleur tout au long de sa vie professionnelle. Le potentiel effet cancérigène des fumées de soudage a été examiné dans une grande variété d'emplois, d'industries, ainsi que sous différentes concentrations et durée d'exposition.

La valeur limite d'exposition (*Threshold Limit Value-Time Weighted Average, TLV-TWA*) pour les fumées de soudage du fer, de l'aluminium et de l'acier doux, tant dans la zone respiratoire du soudeur que dans l'environnement de travail, est de 5 mg/m^3 . (44, 49) Même si notre type d'estimation de l'exposition ne nous permet pas de comparer directement les niveaux d'expositions avec ceux des études qui ont permis une quantification des expositions, il est possible d'inférer que les participants de notre étude, dont l'exposition est codée substantielle, seraient probablement considérés comme étant peu exposé dans ces

études de cohortes de soudeurs. (51-55) Notre étude est donc une étude d'évaluation du risque chez des travailleurs exposés aux fumées de soudage, dans des conditions qui ont été peu évaluées auparavant.

Quelques résultats d'analyse de la présente étude sont compatibles avec ceux d'autres études épidémiologiques, tandis que certaines de nos analyses jettent une lumière nouvelle sur l'association entre les fumées de soudage et le cancer du poumon. En se basant uniquement sur le métier de soudeur, nous avons remarqué une augmentation de risque quasi significative, résultats compatibles avec ceux de plusieurs autres études épidémiologiques sur les soudeurs. (109, 114, 115, 118, 119, 121, 122, 124) Le rapport de cote calculé pour les soudeurs de cette étude (RC=1,48; IC 95%=0,98-2,25) est assez similaire avec ceux calculés dans les plus récentes études où l'intérêt principal est le métier de soudeur. Les estimations du risque dans ces études oscillent souvent entre 1,3 et 1,7, avec quelques exceptions où l'estimation du risque est plus élevée. Par contre, dans notre étude, l'appartenance au métier de soudeur ne touchait qu'entre 14% et 20% des participants, selon l'étude. Ces analyses sont, en quelque sorte, incomplètes car elles n'incluent pas tous les sujets exposés aux fumées de soudage. Il s'agit plutôt d'un moyen afin de pouvoir comparer certains de nos résultats avec ceux de nombreuses autres études professionnelles.

Lorsque l'exposition d'intérêt est, plus précisément, l'exposition aux fumées de soudage, notre étude n'a pas révélé d'augmentation du risque, sauf peut-être pour les personnes exposées aux fumées de soudage au gaz dans l'Étude I (RC=1,42; IC 95%=1,02-1,96). Sur les quelques études où il existait une distinction entre les fumées de soudage au gaz et à l'arc, aucune estimation de risque ne ressemble à celle trouvée dans notre étude. Par contre, le soudage à l'arc est plus souvent l'objet d'étude et est associé à quelques reprises avec une augmentation du risque de cancer du poumon. (95, 98) Nous n'avons pas non plus trouvé d'effet cumulatif tant au niveau de la concentration de l'exposition qu'au niveau de la durée, comparativement à certaines études qui rapportent un effet dose-réponse assez clair. (98, 99, 111, 115)

Les analyses de risque associées aux fumées de soudage selon les différents sous-types histologiques dans notre étude n'ont pas révélé une grosse augmentation du risque.

Lorsqu'une distinction est faite entre les différents types de tumeurs, nous observons un plus grand risque de développer un carcinome épidermoïde ou à petites cellules, chez les sujets exposés aux fumées de soudage au gaz, mais la précision des estimations ne supporte pas une différence ou une similarité de l'effet. Dans la littérature, seulement quelques études épidémiologiques se sont penchées sur la différence dans le risque de cancer entre les sous-types de tumeurs, une précision souvent hors de portée des auteurs d'études de cohorte puisque cette distinction histologique n'existe souvent pas sur les certificats de décès. Par contre, de plus en plus de chercheurs utilisent ces registres de tumeurs mis en place dans un nombre grandissant de pays afin de trouver les renseignements nécessaires sur l'histologie. Une augmentation du risque de carcinome épidermoïde a été trouvée (119), ainsi qu'une augmentation du risque d'adénocarcinome. (122) En ce qui concerne la taille des particules de fumées, le soudage à l'arc produit des particules plus fines à cause de l'oxydation due aux plus hautes températures. Environ 90% des particules de fumée de soudage à l'arc sont plus petites que 2 micromètres et peuvent conséquemment se déposer dans les voies respiratoires inférieures. (56) Un excès de cancer du poumon périphérique, comme l'adénocarcinome, devrait être attendu, comme dans l'étude de Paris et al. (122) Au contraire, nous avons remarqué un certain excès de carcinome à petites cellules et de carcinome épidermoïde après une exposition aux fumées de soudage au gaz, ce qui est plausible étant donné que les particules provenant de ce type de soudage sont plus grosses et pénètrent donc moins profondément dans les poumons. Des particules plus grosses peuvent aussi retarder le dégagement des voies respiratoires et ainsi possiblement augmenter l'effet cancérigène sur ces types de tumeurs centrales. (56) Une autre explication pourrait provenir de la grande prévalence du tabagisme dans cette population et de sa plus forte association avec ces deux types de tumeur, comparativement avec l'adénocarcinome. (7)

En combinant nos deux études, nous n'avons pas découvert de risque de cancer associé à l'exposition aux fumées de soudage, après ajustement pour la présence d'amiante et le tabagisme. Quelques études arrivent aux mêmes conclusions concernant la co-exposition au chrome et au nickel dans les fumées de soudage, c'est-à-dire que la présence de ces produits ne contribue pas à un plus grand risque de cancer du poumon. (95, 99, 109)

Lorsque nous avons stratifié nos analyses en fonction du statut de tabagisme, le risque observé était plus évident chez les non-fumeurs et fumeurs légers, que chez les moyens et gros fumeurs. Le risque était particulièrement élevé et significatif chez les non-fumeurs pour les deux types de fumées de soudage (soudage au gaz, $RC=2,78$; $IC\ 95\%=1,66-4,65$ et soudage à l'arc, $RC=2,20$; $IC\ 95\%=1,32-3,70$) tandis que, chez les fumeurs, le risque était nul. L'effet combiné des fumées de soudage et de la cigarette était compatible avec un modèle de modification d'effet de nature additif et sous-multiplicatif. Aucune étude recensée n'a examiné l'effet combiné de ces expositions. De tels résultats pourraient être attribuable aux fluctuations de la chance, à certains biais systématiques non-identifiés ou à un effet réel. Il est peu probable qu'un effet aussi marqué soit causé par la chance et il ne semble pas y avoir de différences majeures dans les expositions professionnelles entre fumeurs et non-fumeurs. L'absence d'excès de risque associé aux expositions de fumées de soudage dans notre population (fumeurs et non-fumeurs réunis) ressemble beaucoup aux résultats obtenus uniquement avec les fumeurs. La très faible présence de non-fumeur n'a donc que peu d'impact sur les résultats provenant de notre population complète. Par contre, cela pourrait signifier que les cancers du poumon causés par le tabagisme masqueraient en quelque sorte l'effet de l'exposition aux fumées de soudage chez cette grande population de fumeurs que nous avons étudiée, ou encore que les non-fumeurs et fumeurs légers sont plus vulnérables à l'effet des fumées de soudage.

En concordance avec d'autres études ne rapportant pas d'excès de risque après exposition aux fumées de soudage d'acier inoxydable utilisant le procédé à l'arc (95, 109), notre étude ne suggère pas d'excès de risque pour ces expositions, même si ce procédé produit une grande quantité de fumées, comparé au soudage au gaz d'acier doux. (56) La quantité de fumée produite dépend principalement de l'intensité du courant, pour le soudage à l'arc, tandis que pour le soudage au gaz, l'efficacité de l'aération du lieu de travail est importante. (4, 56) Comme le soudage à l'arc est un procédé beaucoup plus complexe qui nécessite un environnement de travail bien établi, il se pourrait que les réglementations de l'industrie fassent en sorte que cet environnement est beaucoup plus sécuritaire que celui du soudage au gaz, qui est plus commun et nécessite moins d'équipement spécialisé. Un grand nombre de travailleurs de la construction, de mécaniciens, de plombiers ou d'autres travailleurs utilisant de l'équipement électrique peuvent utiliser régulièrement le soudage au gaz, dans

des endroits qui ne sont pas nécessairement désignés. Même si seulement une petite partie de la journée est dédiée au soudage, le niveau d'exposition peut demeurer tout de même assez important et concentré. (139)

Considérations, forces et faiblesses

Cette étude comporte certaines limites et sources potentielles de biais qui constituent des faiblesses en soi, mais comporte aussi certaines forces qu'il est nécessaire de mentionner. Ces biais et autres facteurs de confusion doivent être considérés lors de l'interprétation afin d'offrir une vision plus éclairée des résultats.

Précision des résultats

Ce type d'étude, où des analyses globales de risque sont effectuées, comporte certaines imprécisions au niveau des mesures. De plus, lors des diverses analyses spécifiques selon la durée d'exposition, l'intensité cumulative de tabagisme, le sous-type histologique, la présence de fumées d'acier inoxydable et de certains métaux cancérigènes, l'âge, l'origine et le statut de répondant, la division de l'échantillon a créé des sous-échantillons relativement petits, ce qui a affecté la précision des estimés dans certains cas. Pour certaines catégories de variables où le nombre de sujets est très faible, comme pour les cas exposés à des doses substantielles de fumées de soudage et les non-fumeurs et fumeurs légers, ces subdivisions ne font qu'empirer la précision des mesures d'association. Lors de ces analyses, la précision n'est donc pas optimale et, lors de l'interprétation des résultats, le rôle de la chance ne peut être entièrement écarté.

Même si le nombre de participants pour chacune des deux études est relativement élevé, les analyses ont tout de même quelques limites en matière de puissance statistique. En plus du nombre de cas et de témoins participants, plusieurs autres paramètres affectent la puissance statistique de l'étude, comme la prévalence et l'ampleur de l'exposition ainsi que de la

force du risque relatif induit par cette exposition. (140, 141) Le manque de puissance statistique pourrait expliquer pourquoi certaines associations n'ont pas été détectées.

Biais de sélection

Les biais de sélection relatifs au choix des sujets éligibles ont été limités lors de la conception des études. Autant la validité interne que la possibilité de généraliser les résultats à l'ensemble de la population montréalaise étaient valorisées. Les taux de réponse des deux études, même s'ils sont relativement élevés comparativement à d'autres études du même type, ne sont pas idéals et diffèrent quelque peu entre cas et témoins. Il est possible que les participants à l'étude aient différé de ceux qui n'y participent pas, ce qui pourrait biaiser les résultats. Le participant atteint d'un cancer était peut-être plus motivé à participer, comparativement à un témoin qui pouvait considérer cette entrevue comme une intrusion à sa vie privée. Comme les cas étaient recrutés principalement dans les hôpitaux, la différence majeure entre le fait de participer ou non peut être liée à la gravité de la maladie. Si les cas participants à l'étude étaient atteints d'un cancer du poumon moins avancé ou moins souffrant que ceux ayant refusé de participer, les estimations calculées pourraient être biaisées, car l'association représenterait alors le lien entre les fumées de soudage et des stades moins agressifs de cancer du poumon. Dans le cas de l'Étude I, il n'y a sûrement pas de différence dans la qualité de l'information entre les cas de cancer du poumon et les témoins touchés par une autre forme de tumeur, réduisant ainsi les risques de biais. Pour les témoins, le taux de participation était souvent inférieur à celui des témoins, pour différentes raisons. Il se pourrait que les témoins ayant accepté de participer à l'étude aient été plus conscients de leur état de santé que ceux ayant refusé de participer. Par contre, d'après quelques informations obtenues sur les causes d'absence de réponse chez les témoins, nous savons qu'une bonne partie de ces situations ont été causés par une erreur dans l'adresse ou le numéro de téléphone inscrits sur le recensement. Pour l'Étude I, 6% du taux de non-réponse serait causé par ce phénomène, tandis que dans l'Étude II, le taux d'absence de réponse à cause d'une erreur d'adresse ou de numéro de téléphone est de 14%.

Biais d'information (rappel, intervieweur)

Les données décrivant les expositions et autres informations socioéconomiques de chaque participant ont été recueillies avec l'aide de questionnaire et d'entrevue autorapportée ou, dans quelques cas, par un répondant substitut. Il est donc possible qu'un certain degré de biais de rappel soit présent, surtout pour les cas qui, connaissant leur diagnostic de cancer avant l'entrevue, auraient pu chercher à se souvenir plus précisément de certaines expositions passées dont ils soupçonnaient être en lien avec leur maladie. Si un tel biais a vraiment eu lieu lors des entrevues, il pourrait avoir causé des erreurs de classification différentielle, ce qui ferait en sorte de biaiser les mesures d'association vers un effet accru de l'exposition aux fumées de soudage.

Un avantage de notre méthode était que les questions ne concernaient pas directement les expositions, mais plutôt l'historique détaillé des tâches de chaque emploi ainsi que la description de l'environnement de travail. Les répondants n'avaient pas nécessairement à répondre directement s'ils étaient exposés ou non. Cette information était filtrée par l'équipe d'expert en expositions, qui ne connaissait pas le statut de santé des participants. Il y avait donc moins de chances qu'un biais d'information apparaisse dans notre étude que dans d'autres types d'études cas-témoins.

Un autre type de biais concerne les intervieweurs. La nature de ce type d'étude cas-témoins les empêchait d'être maintenus à l'aveugle par rapport au statut des cas et des témoins, parce que certaines de ces entrevues ont eu lieu dans les hôpitaux. Un effort particulier a été investi lors de la formation des intervieweurs afin de s'assurer de traiter tous les participants également. Il est tout de même possible qu'inconsciemment, ils aient accentué certaines expositions ou insisté sur quelques questions, dépendamment du statut du sujet. Si un tel biais a eu lieu, cela aurait pu causer des erreurs de classification différentielle, ce qui ferait en sorte de surestimer l'effet de l'exposition aux fumées de soudage.

Évaluation de l'exposition

Les études cas-témoins basées sur une population comme celle de Montréal sont très pratique quand vient le temps de mesurer les risques de maladies rares ou de maladies chroniques, à long développement, comme le cancer du poumon. Il peut être difficile, dans ce type d'étude, d'obtenir un portrait clair des expositions passées. Le titre de l'emploi n'est pas suffisant, car il peut y avoir beaucoup de variabilité dans l'exposition au sein d'une même usine, pour un même titre. Plusieurs méthodes d'évaluation de l'exposition existent dans ce type d'études, chacune avec ses avantages et inconvénients. Mesurer les expositions sur place, par exemple, peut-être utile et précis mais, dans le cas des cancers, on doit aussi s'intéresser aux expositions passées. Les listes exhaustives et autres matrices d'exposition sont aussi pratiques, mais pas toujours bien adaptées pour le type de recherche entreprise. Le codage par une équipe d'experts, comme celle qui a travaillé sur les études, est un excellent moyen d'estimer avec une certaine précision les expositions récentes et anciennes tout en considérant le changement dans l'intensité et les techniques de l'environnement de travail. Cette estimation est basée sur plusieurs sources, comme la description apportée par le sujet, de la documentation technique et des consultations d'experts. Cette méthode d'évaluation a été utilisée par d'autres équipes de recherche s'intéressant au risque de cancer du poumon après certaines expositions professionnelles. (92, 122) L'évaluation de l'exposition provenant d'une étude de cohorte pourrait être plus fiable étant donné la plus grande facilité à mesurer avec précision l'exposition dans une seule industrie, comparativement à plusieurs environnements de travail différents. Par contre, dans le contexte d'une cohorte rattaché à une industrie en particulier, il peut être plus difficile de connaître les emplois antérieurs et donc de tenir compte des expositions passées, ce qui n'est pas le cas avec notre méthode. Une liste de 294 expositions potentielles était disponible pour les intervieweurs lorsqu'ils s'informaient sur l'historique complet des emplois des sujets.

Cette méthode d'évaluation des expositions pour une étude cas-témoin communautaire, comparativement à d'autres, a l'avantage de ne pas être dépendante uniquement d'un titre d'emploi ou d'une industrie en particulier, ce qui pourrait créer des erreurs de classification non différentielle. Des analyses de validité ainsi que diverses vérifications pour vérifier le niveau de concordance et la validité du codage fait par les experts, a fait en sorte de rendre

les données plus crédibles. (142-145) L'équipe de codeurs et d'experts ont passé plus de 40 années-personnes à élaborer la méthodologie, surveiller la qualité des entrevues, mener des recherches de fond sur certains secteurs industriels, coder chacune des expositions des participant ainsi qu'à recoder, si nécessaire, après consensus de l'équipe. (127, 146) Malgré cet effort, ce type d'estimation, non basé sur des mesures prises sur place, peut induire des erreurs de classification non-différentielle qui, vraisemblablement, diminuerait la force de certaines associations vers la valeur nulle. Plusieurs facteurs ont pu influencer l'exactitude de l'évaluation des expositions, comme la qualité des réponses tirées de l'entrevue ainsi que la définition des expositions à l'étude.

À quelques occasions, plus souvent chez les cas que les témoins, un répondant substitut a été désigné pour répondre aux questions de l'entrevue. Une telle mesure aurait pu affecter la qualité des données récoltées s'il existait une différence entre ces deux types de réponses. Une analyse de sensibilité a été effectuée afin de vérifier si la qualité des données a été compromise par ces répondants substituts. Cette analyse a fourni des résultats assez semblables aux résultats initiaux, ce qui nous a permis de conclure que ce biais d'information n'a eu qu'un impact minime sur nos analyses.

Un autre aspect concerne la définition des expositions retenues lors de l'entrevue et du codage. Malgré le fait que chaque méthode de soudage a ces propres caractéristiques, il est fort probable que deux sujets soudeurs n'auront pas les mêmes expositions, compte tenu du fait que la composition des fumées de soudage dépende d'une multitude de facteurs (du type de métal soudé et de l'électrode choisie ainsi que de l'intensité et de la polarité du courant utilisé). (56) Nous avons dû regrouper ces expositions en deux divisions principales du soudage, c'est-à-dire le soudage au gaz et le soudage à l'arc. Les expositions concernant les électrodes, le type de métal soudé ainsi que le gaz protecteur utilisé ont été classifiées pour chaque sujet. Analyser le risque de ces expositions plus en détail aurait été intéressant, mais nous étions limités en quelque sorte par cette immense variabilité individuelle. Nous avons donc opté pour une analyse du risque après exposition aux deux plus importants types de fumées de soudage, tout en analysant par la suite l'effet de certaines co-expositions récurrentes.

Un certain degré d'imprécision a pu créer quelques erreurs de classification involontaires lors du codage des entrevues. Par contre, comme les codeurs constituaient un groupe différent des intervieweurs et étaient aveugles quant au statut de maladie des sujets, il est plus probable que ces erreurs de classification soient non différentielles et auraient pu atténuer les estimations de risque calculées, au lieu de les amplifier.

Confusion

Malgré les précautions prises, il est possible que les estimations de risque calculées aient été influencées par d'autres expositions non mesurées et liées à un emploi ou un style de vie. Si ces expositions non-mesurées sont en effet cancérigènes et associées aux fumées de soudage, il se peut que cette association ait augmenté la valeur de l'estimation du risque calculée. La confusion des estimations causée par le tabagisme et la présence d'amiante a été considérée et documentée à maintes reprises dans la littérature épidémiologique, mais le véritable effet de ces relations reste difficile à décrire. Plusieurs grosses études de cohorte historiques, par exemple, ne possédaient pas d'informations suffisantes pour prendre en compte l'effet combiné du tabagisme et des fumées de soudage. Dans cette étude, il a été possible de tenir compte de l'historique détaillé des habitudes de tabagisme ainsi que de plusieurs autres co-expositions professionnelles. Nous pouvons affirmer avec assez de certitude que ces éléments ont peu de chances de créer de la confusion dans les estimations calculées. L'historique complet et détaillé du tabagisme de chaque participant a été investigué dans un questionnaire spécifique puis recodé en tenant compte de trois dimensions, soit la durée du tabagisme, le temps depuis l'abandon ainsi que le nombre moyen de cigarettes fumées par jour. (131, 132) Parce que nos études ont été conçues en fonction d'une multitude d'expositions possibles, il a été possible d'ajuster pour certaines co-expositions. Comme les participants ont, pour la plupart, occupé des emplois assez différents au cours de leur vie professionnelle, il y a peu de chances que certaines co-expositions deviennent norme pour chacun. Pour quelques co-expositions plus importantes et affectant assez de participants tels l'amiante, la poussière d'acier inoxydable et les fumées de certains métaux, nous avons pu ajuster pour ces variables ou, du moins, en vérifier l'influence sur les estimations.

Malgré le fait que nous avons trouvé une modification de la mesure d'effet des fumées de soudage par le tabagisme, les résultats dans la plupart des analyses utilisent l'index décrivant l'historique du tabagisme, sans stratification. Cette décision a été prise par souci de comparaison avec les autres études où il y avait ajustement pour le tabagisme. Les rapports de cote des participants exposés aux fumées de soudage sont donc constitués des moyennes pondérées du risque chez les fumeurs et les non-fumeurs, un risque potentiellement différent comme nous l'ont montré certaines analyses.

Temporalité de l'exposition

Dans ce type d'étude, il peut être difficile, même sous les meilleures conditions, de prendre en compte la temporalité de l'exposition. L'équipe d'intervieweurs et d'experts ont utilisé toutes les informations disponibles afin d'estimer le mieux possible les variations des expositions au fil du temps, au niveau individuel comme au niveau de l'industrie en général. Il est donc plausible que certaines estimations soient imprécises à ce niveau, mais que ces erreurs de classification soient non différentielles. De plus, comme une partie de l'analyse porte sur une combinaison d'études distinctes provenant de deux époques relativement différentes, mais pouvant se chevaucher à un certain degré (environ de 1940-1970 pour l'Étude I et de 1960-1990 pour l'Étude II), il est difficile de tirer des conclusions précises par rapport à l'évolution du risque dans le domaine du soudage à travers le temps.

Exclusion des femmes

Une limite importante de cette étude est l'absence de femmes dans les analyses. Alors que, dans l'Étude I, les femmes étaient exclues lors de la conception de l'étude, l'Étude II a été créée en incluant les deux sexes. Par contre, un très faible pourcentage de femmes exposées (environ 1%), une faible intensité d'exposition s'il y a lieu, et le désir de pouvoir comparer et jumeler les deux études nous ont contraint à retirer les femmes de l'analyse. Même s'il a été suggéré qu'il pourrait exister une différence dans la susceptibilité à l'effet des fumées de certains métaux en fonction du sexe (147), ces idées sont encore plutôt controversées.

(148, 149) Quoiqu'il en soit, des preuves d'une équivalence ou non des effets de l'exposition aux fumées de soudage sur les risques de cancer chez les femmes sont nécessaires avant de pouvoir généraliser les conclusions de ces études chez ce groupe.

Groupes contrôles

Le choix d'un bon groupe témoin est vital dans toutes études cas-témoins. Pour nos deux études, le choix du groupe témoin populationnel a été pensé de manière à représenter le mieux possible la population d'où étaient issus les cas. (127) Par contre, une particularité propre à l'Étude I nous a permis de créer un second groupe témoin, constitué de participants ayant un type de cancer différent de celui des cas. Il est difficile de déterminer hors de tout doute quel est le meilleur groupe témoin pour ce genre d'analyse, chaque groupe possédant ses propres avantages et inconvénients en ce qui concerne la sélection, le taux de réponse et certains biais d'informations qui pourraient être introduits. (134, 135, 150) Par exemple, les témoins populationnels sont plus fidèlement représentatifs de la population source, tandis que les témoins issus du groupe cancer ont moins de chances d'introduire des biais d'informations et de rappels différents de ceux des cas.

Comme les rapports de cote obtenus en utilisant les deux groupes témoins séparément différaient peu et allaient dans la même direction, nous avons créé un nouveau groupe témoin composé d'un mélange pondéré des groupes contrôles (533 participants provenant de chacun des groupes, pour un total de 1066 dans le groupe jumelé). En faisant ainsi, nous pouvons réduire l'impact différentiel des biais provenant des deux groupes témoins, tout en augmentant la taille de l'échantillon ainsi que la puissance statistique.

Jumelage des études

La similarité dans le design et les résultats entre l'Étude I et l'Étude II justifie en partie le jumelage des cas et des témoins. Même si les résultats ne sont pas toujours semblables entre les deux études, les intervalles de confiance des rapports de cote calculés se chevauchent la

plupart du temps. L'utilisation d'un indicateur d'étude (I ou II) lors des analyses agrégées a permis d'éviter la présence de confusion qui pourrait découler de l'utilisation de différents ratios de cas et de témoins dans les deux études. Les résultats de ces analyses combinées représentent donc une moyenne pondérée de ces deux études et permet d'obtenir une meilleure puissance statistique.

Implications en santé publique

Plusieurs millions de travailleurs sont exposés quotidiennement aux fumées de soudage d'une multitude de métaux et sous d'innombrables conditions. Juste aux États-Unis, il est estimé qu'environ un demi-million de travailleurs pratique le soudage à temps plein. (3) Le nombre de travailleurs exposés ainsi que l'intensité des expositions aux fumées de soudage semble être légèrement en déclin en Amérique du Nord et en Europe, mais les cas de cancer sont encore souvent associés aux emplois plus dangereux. (151) Il est fort probable que ces changements se fassent au détriment des pays en voie de développement où une partie de la production a été démenagée. Le taux de cancer du poumon semble augmenter dans les pays en voie de développement, (7) et même si cette augmentation peut être en grande partie attribuée à la plus grande consommation de cigarettes (1), il se pourrait aussi que l'implantation rapide d'une multitude de nouvelles industries, où la réglementation est moins sévère, y soit aussi pour quelque chose. Il est toujours aussi pertinent et important de continuer les recherches sur les conséquences à long terme d'expositions professionnelles, (152) car à part pour un changement géographique vers l'Asie et l'Afrique, ces milieux ont toujours besoin d'une meilleure réglementation.

7. CONCLUSION

Lors de ce travail, une analyse de deux études cas-témoins, nous nous sommes intéressés au risque de cancer du poumon chez des hommes de la région métropolitaine de Montréal exposés aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, à des concentrations en général plus basses que pour la plupart des grosses études de cohorte. Notre étude aussi est particulière à cause de la grande diversité des situations d'expositions tout au long de la vie professionnelle des participants, autant pour les expositions professionnelles que pour un grand nombre de variables socioéconomiques. À part pour les sujets exposés aux fumées de soudage au gaz dans l'Étude I, où il y avait un rapport de cote élevé, aucune augmentation significative du risque de cancer du poumon ne s'est manifestée. Les résultats étaient basés sur une estimation de l'exposition fiable et les principaux facteurs de confusion, comme le tabagisme et la présence d'amiante, ont été inclus. Par contre, en restreignant nos analyses aux non-fumeurs et aux fumeurs légers, nous avons découvert un excès de risque après exposition aux deux types de fumées de soudage. Parmi ce groupe, ceux dont les expositions étaient considérées comme étant substantielles avaient un risque encore plus élevé. Ces résultats pourraient signifier qu'en l'absence de déterminants majeurs des causes de cancer comme le tabagisme, une faible exposition aux fumées de soudage serait un facteur de risque significatif du cancer du poumon. À ma connaissance, il n'y a pas de rapport publié qui démontre un tel excès de risque chez les non-fumeurs uniquement.

8. BIBLIOGRAPHIE

1. WHO. The Global Burden of Disease. In: Organization WH, editor. WHO Library. Geneva2008. p. 11.
2. Doll R, Peto R. The causes of cancer : quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today. *J Natl Cancer Inst.* 1981;66:1191-308.
3. Antonini JM, Taylor MD, Zimmer AT, Roberts JR. Pulmonary responses to welding fumes: role of metal constituents. *J Toxicol Environ Health A.* 2004;67(3):233-49.
4. IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 49. Chromium, nickel and welding. Lyon: IARC (International Agency for Research on Cancer); 1990.
5. Alberg AJ, Samet JM. Epidemiology of lung cancer. *Chest.* 2003;123(1 Suppl S):21S-49S.
6. Kenfield SA, Wei EK, Stampfer MJ, Rosner BA, Colditz GA. Comparison of aspects of smoking among the four histological types of lung cancer. *Tob Control.* 2008 Jun;17(3):198-204.
7. Adami HO, Hunter D, Trichopoulos D. Textbook of Cancer Epidemiology. New York: Oxford University Press; 2002. p. 248-80.
8. Berger M, Lund MJ, Brawley OW. Racial disparities in lung cancer. *Curr Probl Cancer.* 2007;31:202-10.
9. Parkin DM, Whelan SL, Ferlay J, Raymond L, Young J. Cancer Incidence in Five Continents. IARC Scientific Publications. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1997. p. 796-939.
10. Faggiano F, Partanen T, Kogevinas M, Boffetta P. Socioeconomic differences in cancer incidence and mortality. IARC Scientific Publications. 1997;138:65-176.
11. Parkin DM, Bray F, Ferlay J, Pisani P. Estimating the world cancer burden: GLOBOCAN 2000. *Int J Cancer.* 2001;94(2):153-6.
12. Canadian Cancer Society. Canadian Cancer Statistics 2011. Toronto: Canadian Cancer Society; 2011 [9 novembre 2011]; Available from: http://www.cancer.ca/Canada-wide/About%20cancer/Cancer%20statistics.aspx?sc_lang=en.
13. WHO. The world health organization on the global tobacco epidemic. *Popul Dev Rev.* [Editorial Material]. 2008 Mar;34(1):188-94.
14. IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 83. Tobacco smoke and involuntary smoking. Lyon: IARC (International Agency for Research on Cancer); 2004.
15. Mathers CD, Loncar D. Projections of global mortality and burden of disease from 2002 to 2030. *PLoS Med.* [Research Support, Non-U.S. Gov't]. 2006 Nov;3(11):e442.

16. Wingo PA, Ries LAG, Giovino GA, Miller DS, Rosenberg HM, Shopland DR, et al. Annual report to the nation on the status of cancer, 1973-1996, with a special section on lung cancer and tobacco smoking. *J Natl Cancer Inst.* 1999;91(8):675-90.
17. Doll R, Peto R. Mortality in relation to smoking: 20 years' observations on male British doctors. *Brit Med J.* 1976;2:1525-36.
18. Rogot E, Murray JL. Smoking and causes of death among U.S. veterans: 16 years of observation. *Public Health R.* 1980;95(3):213-22.
19. Hirayama T. Non-smoking wives of heavy smokers have a higher risk of lung cancer: a study from Japan. *Brit Med J.* 1981;282:183-5.
20. Blot WJ, McLaughlin JK. Passive smoking and lung cancer risk - what is the story now. *J Natl Cancer Inst.* 1998;90(19):1416-7.
21. Boffetta P, Agudo A, Ahrens W, Benhamou E, Benhamou S, Darby SC, et al. Multicenter case-control study of exposure to environmental tobacco smoke and lung cancer in Europe. *J Natl Cancer Inst.* 1998;90(19):1440-50.
22. Boffetta P, Saracci R, Hirsch A, Goldberg M, Martin JP, Masse R. Occupational factors of lung cancer. New York: Marcel Dekker; 1993. p. 37-63.
23. Erren TC, Jacobsen M, Piekarski C. Synergy between asbestos and smoking on lung cancer risks. *Epidemiology.* 1999;10(4):405-11.
24. Council NR. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. In: Sciences NAO, editor. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters; Washington, DC1988.
25. Siemiatycki J, Richardson L, Straif K, Latreille B, Lakhani R, Campbell S, et al. Listing occupational carcinogens. *Environ Health Perspect.* 2004;112(15):1447-59.
26. Bandera EV, Freudenheim JL, Vena JE. Alcohol consumption and lung cancer: A review of the epidemiologic evidence. *Cancer Epidem Biomar.* 2001;10(8):813-21.
27. Freudenheim JL, Ritz J, Smith-Warner SA, Albanes D, Bandera EV, van den Brandt PA, et al. Alcohol consumption and risk of lung cancer: a pooled analysis of cohort studies. *Am J Clin Nutr.* 2005;82(3):657-67.
28. IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 44. Alcohol drinking. Lyon: IARC (International Agency for Research on Cancer); 1988. p. 258-9.
29. American Institute for Cancer Research. Food, Nutrition, Physical Activity and the Prevention of Cancer: a Global Perspective. Washington DC: World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research; 2007. p. 157-71.

30. De Stefani E, Brennan P, Ronco A. Food groups and risk of lung cancer in Uruguay. *Lung Cancer*. 2002;38:1-7.
31. Axelsson G, Rylander R. Diet as risk for lung cancer: A Swedish case-control study. *Nutr Cancer*. 2002;44(2):145-51.
32. Ruano-Ravina A, Figueiras A, Barros-Dios JM. Diet as risk for lung cancer : a new approach. *Eur J Cancer Prev*. 2000;9:395-400.
33. Ziegler RG, Colavito EA, Hartge P, McAdams MJ, Schoenberg JB, Mason TJ, et al. Importance of alpha-carotene, beta-carotene, and other phytochemicals in the etiology of lung cancer. *J Natl Cancer Inst*. 1996;88(9):612-5.
34. La Vecchia C. Diet and human cancer: a review. *Eur J Cancer Prev*. 2001;10(2):177-81.
35. Boffetta P. Human cancer from environmental pollutants: The epidemiological evidence. *Mutat Res-Gen Tox En*. 2006;608(2 Special Issue SI):157-62.
36. IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 78. Ionizing radiation, part 2. Some internally deposited radionuclides. Lyon: IARC (International Agency for Research on Cancer); 2001. p. 478-80.
37. Ramanakumar AV, Parent ME, Siemiatycki J. Risk of lung cancer from residential heating and cooking fuels in Montreal, Canada. *Am J Epidemiol*. 2007;165(6):634-42.
38. Mao Y, Hu JF, Ugnat AM, Semenciw R, Fincham S. Socioeconomic status and lung cancer risk in Canada. *Int J Epidemiol*. 2001;30(4):809-17.
39. Kogevinas M, Pearce N, Susser M, Boffeta P, editors. *Social Inequalities and Cancer*. Lyon: IARC; 1997.
40. Lindberg RAB, N.R. *Welding and Other Joining Processes*. Boston, MA: Allyn & Bacon Inc.; 1985.
41. Skrinari J. Technical history and future development of the welding industry. In: Stern RM, Berlin, A., Fletcher, A.C. & Jarvisalo, J., editor. *Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases*. Amsterdam: Excerpta Medica; 1986. p. pp. 23-8.
42. Lancaster JF. *Metallurgy of Welding*. 3rd ed ed. London: George Allen & Unwin; 1980.
43. Brillié J. *Soudure Electrique à l'Arc*. Paris: Ecole Supérieure de Soudure Autogène; 1990.
44. Antonini JM. Health effects of welding. *Crit Rev Toxicol*. 2003;33(1):61-103.

45. Office de la Langue Française. Grand dictionnaire terminologique. Quebec: Office de la langue française; 2001 [cited 2011 25-05-2011]; Available from: <http://www.granddictionnaire.com/>.
46. Stern RM. Assessment of risk of lung cancer for welders. Arch Environ Health. 1983;38(3):148-55.
47. Wilkinson J. Fabrication worldwide. Met Constr. 1988(March):134-9.
48. Widgery D. Welding - the key to better productivity. Weld Met Fabr. 1986;58(March):70.
49. ACGIH. Welding fumes. Documentation of the threshold limit values for chemical substances, 7th edition. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2001. p. 1726-7.
50. Gouvernement du Québec. Règlement sur la santé et la sécurité au travail. Gazette officielle du Québec, Partie 2, Lois et règlements; 2001. p. 3888-994.
51. Stern RM. Process Dependent Risk of Delayed Health Effects for Welders. Environ Health Perspect. 1981;41:235-53.
52. Ulfvarson U. Air contaminants involved in welding in Swedish industry - sources of variation in concentrations. In: Stern RM BA, Fletcher AC, Jarvisala J, editor. Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases. Amsterdam: Excerpta Medica; 1986. p. 133-6.
53. Van der Wal JF. Exposure of welders to fumes, Cr, Ni, Cu and gases in Dutch industries. Ann Occup Hyg. 1985;29:377-89.
54. Coenen W, Grothe I, Kuhnen G. Exposure to welding fumes in the workplace with regard to nickel and chromates. In: Stern RM BA, Fletcher AC, Jarvisala J, editor. Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases. Amsterdam: Excerpta Medica; 1986. p. 149-52.
55. Coenen W, Grothe, I., Kuhnen, G., Pfeiffer, W. & Schenk, H. Nickel and chromate in welding fume. Staub. 1985;45:546-50.
56. Burgess WA. Welding. Recognition of health hazards in industry : a review of materials and processes. 2nd ed. New York: Wiley; 1995. p. 167-204.
57. Villaume JE, Wasti, K., Liss-Suter, D. & Hsiao, S. Effects of Welding on Health. Society AW, editor. Miami, FL: American Welding Society; 1979.
58. Pantucek M. American Industrial Hygiene Association Journal. Am Ind Hyg Assoc J. 1971;32:687-92.
59. Alpaugh E, Phillips, K. & Pusifer, H. American Industrial Hygiene Association. Am Ind Hyg Assoc J. 1968;29:551.

60. Ferry JG, G. Welding. *Weld J.* 1953;32:396.
61. Dare PRM, Hewitt PJ, Hicks R, Van Bemst A, Zober A, Fleischer M. Barium in welding fume. *Ann Occup Hyg.* 1984;28:445-8.
62. Gallagher RP, Threlfall WJ. Cancer mortality in metal workers. *Can Med Assoc J.* 1983;129:1191-4.
63. Guralnick L. Mortality by occupation level and cause of death among men 20-54 years of age: USA, 1950. (Vital Statistics Special Reports Vol. 43, No. 5). Washington, D. C.: U.S. Department of Health, Education, and Welfare; 1963. p. 246.
64. Logan WPD. Cancer Mortality by Occupation and Social Class. *Cancer Mortality by Occupation and Social Class (1851-1971)*. Lyon: IARC; 1982. p. 118-20.
65. Petersen GR, Milham S, Jr. Occupational mortality in the state of California, 1959-1961. Rockville, Maryland: National Institute for Occupational Safety and Health; 1980.
66. Decoufle P, Stanislawczyk K, Houten L, Bross IDJ, Viadana E. A retrospective survey of cancer in relation to occupation. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health; 1977.
67. Gottlieb MS. Lung cancer and the petroleum industry in Louisiana. *J Occup Med.* 1980 Jun;22(6):384-8.
68. Morton WE, Treyve EL. Histologic differences in occupational risks of lung cancer incidence. *Am J Ind Med.* 1982;3:441-57.
69. Milne KL, Sandler DP, Everson RB, Brown SM. Lung cancer and occupation in Alameda County: a death certificate case-control study. *Am J Ind Med.* 1983;4:565-75.
70. Beaumont JJ, Weiss NS. Lung cancer among welders. *J Occup Med.* 1981;23:839-44.
71. Sjogren B, Carstensen J. Cancer morbidity among Swedish welders and gas-cutters. In: Stern RM, Berlin, A., Fletcher, A.C. & Jarvisalo, J., editor. *Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases*. Amsterdam: Excerpta Medica; 1986. p. 461-3.
72. Dunn JEJ, Linden G, Breslow L. Lung cancer mortality experience of men in certain occupations in California. *Am J Public Health.* 1960;50:1475-87.
73. Fletcher AC, Ades A. Lung cancer mortality in a cohort of English foundry workers. *Scand J Work Environ Health.* 1984 Feb;10(1):7-16.
74. McMillan GH. The health of welders in naval dockyards. The risk of asbestos-related diseases occurring in welders. *J Occup Med.* 1983 Oct;25(10):727-30.

75. Polednak AP. Mortality among welders, including a group of exposed to nickel oxides. *Arch Environ Health*. 1981;36:235-42.
76. Puntoni R, Vercelli M, Merlo F, Valerio F, Santi L. Mortality among shipyard workers in Genoa, Italy. *Ann N Y Acad Sci*. 1979;330:353-77.
77. Newhouse ML, Oakes D, Woolley AJ. Mortality of welders and other craftsmen at a shipyard in NE England. *Br J Ind Med*. 1985 Jun;42(6):406-10.
78. Tola S, Kalliomaki PL, Pukkala E, Asp S, Korkala ML. Incidence of cancer among welders, platers, machinists, and pipe fitters in shipyards and machine shops. *Br J Ind Med*. 1988;45(4):209-18.
79. Becker N, Claude J, Frentzel-Beyme R. Cancer risk of arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 1985;11:75-82.
80. Sjogren B. A retrospective cohort study of mortality among stainless steel welders. *Scand J Work Environ Health*. 1980 Sep;6(3):197-200.
81. IARC. Mortality and Cancer Incidence Follow-up on an Historical Cohort of European Welders. (Intern tech Rep 89/003). 1989;Lyon.
82. Breslow L, Hoaglin L, Rasmussen G, Abrams HK. Occupations and cigarette smoking as factors in lung cancer. *Am J Public Health Nations Health*. 1954 Feb;44(2):171-81.
83. Silverstein M, Maizlish N, Park R, Mirer F. Mortality among workers exposed to coal tar pitch volatiles and welding emissions: an exercise in epidemiologic triage. *Am J Public Health*. 1985;75:1283-7.
84. Lerchen ML, Wiggins CL, Samet JM. Lung cancer and occupation in New Mexico. *J Natl Cancer Inst*. 1987;79(4):639-45.
85. Buiatti E, Kriebel D, Geddes M, Santucci M, Pucci N. A case control study of lung cancer in Florence, Italy. I. Occupational risk factors. *J Epidemiol Commun H*. 1985;39:244-50.
86. Benhamou S, Benhamou E, Flamant R. Occupational risk factors of lung cancer in a French case-control study. *Br J Ind Med*. 1988 Apr;45(4):231-3.
87. Ronco G, Ciccone G, Mirabelli D, Troia B, Vineis P. Occupation and lung cancer in two industrialized areas of northern Italy. *Int J Cancer*. 1988;41(3):354-8.
88. Blot WJ, Harrington JM, Toledo A, Hoover R, Heath CW, Jr., Fraumeni JF, Jr. Lung cancer after employment in shipyards during World War II. *New Engl J Med*. 1978 Sep 21;299(12):620-4.

89. Blot WJ, Morris LE, Stroube R. Lung and laryngeal cancer following shipyard employment in coastal Virginia. *J Natl Cancer Inst.* 1980;65:571-5.
90. Schoenberg JB, Stenhagen A, Mason TJ, Patterson J, Bill J, Altman R. Occupation and lung cancer risk among New Jersey white males. *J Natl Cancer Inst.* 1987;79(1):13-21.
91. Rinsky RA, Melius JM, Hornung RW, Zumwalde RD, Waxweiler RJ, Landrigan PJ, et al. Case-control study of lung cancer in civilian employees at the Portsmouth Naval Shipyard, Kittery, Maine. *Am J Epidemiol.* 1988 Jan;127(1):55-64.
92. Kjuus H, Skjaerven R, Langard S, Lien JT, Aamodt T. A case-referent study of lung cancer, occupational exposures and smoking. I. Comparison of title-based and exposure-based occupational information. *Scand J Work Environ Health.* 1986;12:193-202.
93. Palmer WG, Eaton JC. Effects of Welding on Health - XI. In: Society AW, editor. *Effects of Welding on Health - XI.* Miami, FL2001.
94. Puntoni R, Merlo F, Borsa L, Reggiardo G, Garrone E, Ceppi M. A historical cohort mortality study among shipyard workers in Genoa, Italy. *Am J Ind Med.* 2001;40(4):363-70.
95. Becker N. Cancer mortality among arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel - Results of a third follow-up: 1989-1995. *J Occup Environ Med.* 1999;41(4):294-303.
96. Jockel KH, Ahrens W, Pohlabein H, Bolmaudorff U, Muller KM. Lung cancer risk and welding - results from a case-control study in Germany. *Am J Ind Med.* 1998;33(4):313-20.
97. Jockel KH, Ahrens W, Bolmaudorff U. Lung Cancer Risk and Welding - Preliminary Results from an Ongoing Case-Control Study. *Am J Ind Med.* 1994;25(6):805-12.
98. Danielsen TE, Langard S, Andersen A, Knudsen O. Incidence of cancer among welders of mild steel and other shipyard workers. *Br J Ind Med.* 1993;50(12):1097-103.
99. Simonato L, Fletcher AC, Andersen A, Anderson K, Becker N, Chang-Claude J, et al. A historical prospective study of European stainless steel, mild steel, and shipyard welders. *Br J Ind Med.* 1991;48(3):145-54.
100. Steenland K, Beaumont J, Elliot L. Lung cancer in mild steel welders. *Am J Epidemiol.* 1991;133(3):220-9.
101. Moulin JJ, Wild P, Haguenoer JM, Faucon D, Degaudemaris R, Mur JM, et al. A mortality study among mild steel and stainless steel welders. *Br J Ind Med.* 1993;50(3):234-43.
102. Sjogren B, Hansen KS, Kjuus H, Persson PG. Exposure to stainless steel welding fumes and lung cancer: A meta-analysis. *Occup Environ Med.* 1994;51(5):335-6.

103. Hansen KS, Lauritsen JM, Skytthe A. Cancer incidence among mild steel and stainless steel welders and other metal workers. *Am J Ind Med.* 1996;30(4):373-82.
104. Lauritsen JM, Hansen KS. Lung cancer mortality in stainless steel and mild steel welders - a nested case-referent study. *Am J Ind Med.* 1996;30(4):383-91.
105. Steenland K. Ten-year update on mortality among mild-steel welders. *Scand J Work Environ Health.* 2002;28(3):163-7.
106. Ambroise D, Wild P, Moulin JJ. Update of a meta-analysis on lung cancer and welding. *Scand J Work Environ Health.* 2006;32(1):22-31.
107. Sorensen AR, Thulstrup AM, Hansen J, Ramlau-Hansen CH, Meersohn A, Skytthe A, et al. Risk of lung cancer according to mild steel and stainless steel welding. *Scand J Work Environ Health.* 2007;33(5):379-86.
108. Peto J. Cancer morbidity and mortality studies of welders. In: Stern RM BA, Fletcher AC, Jarvisala J, editor. *Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.* Amsterdam: Excerpta Medica; 1986. p. 423-34.
109. Moulin JJ. A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders. *Scand J Work Environ Health.* 1997;23(2):104-13.
110. Danielsen TE, Langard S, Andersen A. Incidence of lung cancer among shipyard welders investigated for siderosis. *Int J Occup Environ Health.* 1998 Apr-Jun;4(2):85-8.
111. Danielsen TE, Langard S, Andersen A. Incidence of cancer among welders and other shipyard workers with information on previous work history. *J Occup Environ Med.* 2000;42(1):101-9.
112. Krstev S, Stewart P, Rusiecki J, Blair A. Mortality among shipyard Coast Guard workers: a retrospective cohort study [Review]. *Occup Environ Med.* 2007;64(10):651-8.
113. Zaebst DD, Seel EA, Yiin JH, Nowlin SJ, Chen P. Summary of retrospective asbestos and welding fume exposure estimates for a nuclear naval shipyard and their correlation with radiation exposure estimates. *J Occup Environ Hyg.* 2009;6(7):404-14.
114. Keller JE, Howe HL. Cancer in Illinois Construction Workers - A Study. *Am J Ind Med.* 1993;24(2):223-30.
115. Park R, Krebs J, Mirer F. Mortality at an Automotive Stamping and Assembly Complex. *Am J Ind Med.* 1994;26(4):449-63.
116. Danielsen TE, Langard S, Andersen A. Incidence of cancer among Norwegian boiler welders. *Occup Environ Med.* 1996;53(4):231-4.
117. Van Loon AJM, Kant IJ, Swaen GMH, Goldbohm RA, Kremer AM, van den Brandt PA. Occupational exposure to carcinogens and risk of lung cancer - results from the Netherlands Cohort Study. *Occup Environ Med.* 1997;54(11):817-24.

118. Andersen A, Barlow L, Engeland A, Kjaerheim K, Lyng E, Pukkala E. Work-related cancer in the Nordic countries. *Scand J Work Environ Health*. 1999;25(Suppl 2):1-114.
119. Pezzotto SM, Poletto L. Occupation and histopathology of lung cancer: A case-control study in Rosario, Argentina. *Am J Ind Med*. 1999;36(4):437-43.
120. Gustavsson P, Jakobsson R, Nyberg F, Pershagen G, Jarup L, Scheele P. Occupational exposure and lung cancer risk: A population-based case-referent study in Sweden. *Am J Epidemiol*. 2000;152(1):32-40.
121. Richiardi L, Boffetta P, Simonato L, Forastiere F, Zambon P, Fortes C, et al. Occupational risk factors for lung cancer in men and women: a population-based case-control study in Italy. *Cancer Cause Control*. 2004;15(3):285-94.
122. Paris C, Clement-Duchene C, Vignaud JM, Gislard A, Stoufflet A, Bertrand O, et al. Relationships between lung adenocarcinoma and gender, age, smoking and occupational risk factors: A case-case study. *Lung Cancer*. 2010 May;68(2):146-53.
123. Rushton L, Bagga S, Bevan R, Brown TP, Cherrie JW, Holmes P, et al. Occupation and cancer in Britain. *Br J Cancer*. 2010 Apr 27;102(9):1428-37.
124. Pukkala E, Martinsen JI, Lyng E, Gunnarsdottir HK, Sparen P, Tryggvadottir L, et al. Occupation and cancer - follow-up of 15 million people in five Nordic countries. *Acta Oncol*. [Review]. 2009;48(5):646-790.
125. Van Loon AJM, Goldbohm RA, Kant I, Swaen GMH, Kremer AM, Vandenbrandt PA. Socioeconomic status and lung cancer incidence in men in the Netherlands - is there a role for occupational exposure. *J Epidemiol Commun H*. 1997;51(1):24-9.
126. Parkin DM, Shanmugaratnam K, Sobin L, Ferlay J, Whelan SL. Technical report #31. Histological groups for comparative studies. Lyon: IARC (International Agency for Research on Cancer); 1998. p. 31.
127. Siemiatycki J. Risk factors for cancer in the workplace. Boca Raton: CRC Press; 1991. p. 29-114.
128. Ramanakumar AV, Parent ME, Menzies D, Siemiatycki J. Risk of lung cancer following nonmalignant respiratory conditions: evidence from two case-control studies in Montreal, Canada. *Lung Cancer*. 2006;53(1):5-12.
129. Gérin M, Siemiatycki J, Kemper H, Bégin D. Obtaining occupational exposure histories in epidemiologic case-control studies. *J Occup Med*. 1985;27(6):420-6.
130. Parent ME, Rousseau MC, Boffetta P, Cohen A, Siemiatycki J. Exposure to diesel and gasoline engine emissions and the risk of lung cancer. *Am J Epidemiol*. 2007;165(1):53-62.

131. Leffondré K, Abrahamowicz M, Xiao Y, Siemiatycki J. Modelling smoking history using a comprehensive smoking index: application to lung cancer. *Stat Med.* 2006;25(24):4132-46.
132. Leffondre K, Abrahamowicz M, Siemiatycki J, Rachet B. Modeling smoking history: a comparison of different approaches. *Am J Epidemiol.* 2002 Nov 1;156(9):813-23.
133. Minister of Manpower and Immigration. Canadian Classification and Dictionary of Occupations 1971. Vol 1. Classification and Definitions. Ottawa: Information Canada; 1974.
134. Siemiatycki J, Wacholder S, Richardson L, Dewar R, Gérin M. Discovering carcinogens in the occupational environment: methods of data collection and analysis of a large case-referent monitoring system. *Scand J Work Environ Health.* 1987;13:486-92.
135. Wacholder S, Silverman DT, McLaughlin JK, Mandel JS. Selection of controls in case-control studies. II. Types of controls. *Am J Epidemiol.* 1992;135(9):1029-41.
136. Dominion Bureau of Statistics. Standard Industrial Classification Manual. Ottawa: Information Canada; 1970.
137. Hull CJ, Doyle E, Peters JM, Garabrant DH, Bernstein L, Preston-Martin S. Case-control study of lung cancer in Los Angeles county welders. *Am J Ind Med.* 1989;16(1):103-12.
138. Melkild A, Langard S, Andersen A, Tonnessen JN. Incidence of cancer among welders and other workers in a Norwegian shipyard. *Scand J Work Environ Health.* 1989;15(6):387-94.
139. Susi P, Goldberg M, Barnes P, Stafford E. The use of a task-based exposure assessment model (T-BEAM) for assessment of metal fume exposures during welding and thermal cutting. *Appl Occup Environ Hyg.* 2000;15(1):26-38.
140. Last JM. Dictionnaire d'épidémiologie : enrichi d'un lexique anglais-français [sous la direction de] John M. Last. xiv ed. Paris: Edisem, Maloine; 2004. p. 182.
141. Schlesselman JJ. Case-control studies. New York: Oxford University Press; 1982. p. 144.
142. Goldberg MS, Siemiatycki J, Gérin M. Inter-rater agreement in assessing occupational exposure in a case-control study. *Br J Ind Med.* 1986;43:667-76.
143. Baumgarten M, Siemiatycki J, Gibbs GW. Validity of work histories obtained by interview for epidemiologic purposes. *Am J Epidemiol.* 1983;118(4):583-91.
144. Siemiatycki J, Fritschi L, Nadon L, Gerin M. Reliability of an expert rating procedure for retrospective assessment of occupational exposures in community-based case-control studies. *Am J Ind Med.* 1997;31(3):280-6.

145. Fritschi L, Siemiatycki J, Richardson L. Self-assessed versus expert-assessed occupational exposures. *Am J Epidemiol.* 1996 Sep 1;144(5):521-7.
146. Pintos J, Parent ME, Rousseau MC, Case BW, Siemiatycki J. Occupational exposure to asbestos and man-made vitreous fibers, and risk of lung cancer: Evidence from two case-control studies in Montreal, Canada. *J Occup Environ Hyg.* 2008 Nov;50(11):1273-81.
147. Vahter M, Akesson A, Liden C, Ceccatelli S, Berglund M. Gender differences in the disposition and toxicity of metals [Review]. *Environ Res.* 2007;104(1):85-95.
148. Bain C, Feskanich D, Speizer FE, Thun M, Hertzmark E, Rosner BA, et al. Lung cancer rates in men and women with comparable histories of smoking. *J Natl Cancer Inst.* 2004;96(11):826-34.
149. Alberg AJ, Brock MV, Samet JM. Epidemiology of lung cancer: Looking to the future [Review]. *J Clin Oncol.* 2005;23(14):3175-85.
150. Smith AH, Pearce NE, Callas PW. Cancer case-control studies with other cancers as controls. *Int J Epidemiol.* 1988;17(2):298-306.
151. Clayton DB. *Toxicological Carcinogenesis.* Boca Raton: Lewis Publishers; 2001. p. 161-9.
152. Epstein SS, Ashford NA, Blackwelder B, Castleman B, Cohen G, Goldsmith E, et al. The crisis in U.S. and international cancer policy. *Int J Health Ser.* 2002;32(4):669-707.

9. TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques sociodémographiques des participants aux deux études cas-témoins de la région montréalaise

Variables	Catégories	Étude I (1979-1986)			Étude II (1996-2001)	
		Témoins population N=533	Témoins cancer N=1349	Cas N=857	Témoins population N=894	Cas N=736
Âge (%)	≤ 55 ans	28,0	32,5	27,4	11,9	13,6
	56-65 ans	45,2	43,7	50,8	28,6	32,9
	66-75 ans	26,8	23,7	21,8	59,5	53,5
Appartenance ethnolinguistique (%)	Français	64,2	58,0	69,1	64,4	77,4
	Anglais	14,1	16,1	13,5	6,4	4,6
	Autre	21,8	25,9	17,4	29,2	17,9
Éducation (%)	<7 ans	20,3	22,3	30,3	24,7	28,0
	7-12 ans	56,1	55,2	57,1	48,1	56,3
	≥13 ans	23,6	22,5	12,6	27,2	15,7
Moyenne du revenu familial médian (\$) *	(écart-type)	26627 (8534)	24761 (9222)	22386 (7640)	35187 (14097)	32961 (14949)
Tabagisme (%)	Jamais fumé	19,7	17,3	1,5	17,7	2,4
	2-5 ans depuis abandon	8,8	6,7	7,6	2,8	4,3
	5-10 ans depuis abandon	7,9	6,2	6,0	6,6	5,8
	10 ans + depuis abandon	16,7	11,8	5,0	43,7	19,8
	Fumeur actuel**	46,9	58,0	79,9	29,2	67,5
Moyenne en paquets-années (%)***	(écart-type)	49,9 (32,4)	52,3 (35,2)	74,3 (40,4)	50,3 (38,3)	78,5 (43,5)
Répondant (%)	Soi-même	87,4	80,8	70,6	90,3	60,2
	Mandataire	12,6	19,2	29,4	9,7	39,8

* Médiane du revenu familial du secteur de recensement, en dollars canadiens

** Fumeurs actuels et ceux ayant quitté moins de 2 ans avant le recrutement

*** Parmi les sujets ayant déjà fumé, basé sur un paquet de 20 cigarettes

Tableau 2 : Distribution des participants en fonction de diverses dimensions de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

	Étude I (1979-1986)						Étude II (1996-2001)			
	Témoins population		Témoins cancer		Cas		Témoins		Cas	
	N=533		N=1349		N=857		N=894		N=736	
Fiabilité	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>										
Non-exposé	471	88,4	1184	87,8	735	85,8	723	80,9	606	82,3
Possible	6	1,1	12	0,9	7	0,8	19	2,1	21	2,9
Probable	13	2,4	33	2,4	28	3,3	36	4,0	31	4,2
Définitif	43	8,1	120	8,9	87	10,2	116	13,0	78	10,6
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>										
Non-exposé	460	86,3	1188	88,1	751	87,6	712	79,6	608	82,6
Possible	1	0,2	5	0,4	1	0,1	15	1,7	14	1,9
Probable	16	3,0	32	2,4	13	1,5	50	5,6	27	3,7
Définitif	56	10,5	124	9,2	92	10,7	117	13,1	87	11,8
Fréquence (en h/semaine)										
<i>Fumée de soudage au gaz</i>										
Non-exposé	471	88,4	1184	87,8	735	85,8	723	80,9	606	82,3
Moins de 5 h/semaine	17	3,2	35	2,6	26	3,0	51	5,7	44	6,0
5 à 10 h/semaine	28	5,3	81	6,0	58	6,8	25	2,8	18	2,4
Plus de 10 h/semaine	17	3,2	49	3,6	38	4,4	95	10,6	68	9,2
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>										
Non-exposé	460	86,3	1188	88,1	751	87,6	712	79,6	608	82,6
Moins de 5 h/semaine	12	2,3	25	1,9	15	1,8	45	5,0	38	5,2
5 à 10 h/semaine	23	4,3	66	4,9	39	4,6	21	2,3	11	1,5
Plus de 10 h/semaine	38	7,1	70	5,2	52	6,1	116	13,0	79	10,7
Concentration										
<i>Fumée de soudage au gaz</i>										
Non-exposé	471	88,4	1184	87,8	735	85,8	723	80,9	606	82,3
Bas	19	3,6	46	3,4	36	4,2	96	10,7	63	8,6
Moyen	21	3,9	73	5,4	48	5,6	64	7,2	58	7,9
Élevé	22	4,1	46	3,4	38	4,4	11	1,2	9	1,2
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>										
Non-exposé	460	86,3	1188	88,1	751	87,6	712	79,6	608	82,6
Bas	36	6,8	73	5,4	39	4,6	109	12,2	62	8,4
Moyen	13	2,4	50	3,7	35	4,1	63	7,0	47	6,4
Élevé	24	4,5	38	2,8	32	3,7	10	1,1	19	2,6

Tableau 3 : Distribution des participants en fonction de l'intensité de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

	Étude I (1979-1986)						Étude II (1996-2001)			
	Témoins population N=533		Témoins cancer N=1349		Cas N=857		Témoins N=894		Cas N=736	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>										
Non exposé	477	89,5	1196	88,7	742	86,6	742	83,0	627	85,2
Niveau non-substantiel*	33	6,2	82	6,1	62	7,2	120	13,4	79	10,7
Niveau substantiel**	23	4,3	71	5,3	53	6,2	32	3,6	30	4,1
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>										
Non exposé	461	86,5	1193	88,4	752	87,7	727	81,3	622	84,5
Niveau non-substantiel*	50	9,4	99	7,3	61	7,1	131	14,7	81	11,0
Niveau substantiel**	22	4,1	57	4,2	44	5,1	36	4,0	33	4,5

*Niveau non-substantiel : Fiabilité probable ou définitive, exposition au moins 5 ans avant l'entrevue

**Niveau substantiel : Concentration moyenne ou élevée d'exposition, durant plus de 5% de la semaine de travail et pendant cinq ans ou plus.

Tableau 4 : Distribution des emplois occupés par les participants exposés aux fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins

CCDO*	Catégorie d'emploi	<i>Fumée de soudage au gaz</i>		<i>Fumée de soudage à l'arc</i>	
		Étude I %	Étude II %	Étude I %	Étude II %
8581	Mécanicien et restaurateur de véhicules	12,7	17,4	5,4	11,2
8335	Soudeur et découpeur	14,8	13,8	20,3	15,1
8791	Tuyauteur, plombier et emplois reliés	6,7	3,6	3,1	4,6
8584	Mécanicien et réparateur de machineries	5,6	4,1	6,8	2,9
8313	Machiniste et usineur de pièce mécanique	3,7	2,9	4,8	2,3
8580	Contremaître de mécaniciens et réparateurs	3,0	3,2	2,1	2,5
8799	Autres métiers liés à la construction	2,2	3,4	1,4	2,5
8333	Tôlier et découpeur de tôles	3,2	1,8	3,9	3,1
8583	Mécanicien et réparateur d'équipement ferroviaire	2,8	2,0	2,1	1,0
8793	Érecteur de charpentes métalliques	1,7	1,6	1,4	2,3
8393	Métiers liés au limage, meulage, polissage du métal	1,3	1,6	1,7	1,7
8533	Installation et réparation d'équipements électriques	0,9	2,0	1,4	1,7
8515	Fabrication et assemblage d'aéronefs	2,2	0,5	2,7	1,2
9311	Métiers liés au levage, hissage	1,7	0,9	1,4	1,7
5130	Superviseur des ventes	1,7	0,7	0,8	0,0
8591	Fabrication et réparation de bijoux et d'argenterie	1,1	1,4	0,0	0,0
	Autre	34,8	39,1	40,7	46,1
	<i>Nombre d'emplois où il y a eu exposition**</i>	n=465	n=442	n=516	n=518

* CCDO : Canadian Classification and Dictionary of Occupations (Classification Canadienne et Dictionnaire des Professions)

** Chaque sujet peut avoir été exposé aux fumées dans plus d'un emploi

Tableau 5 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux deux catégories d'emploi présentant le plus d'exposition aux fumées de soudage, dans deux études cas-témoins

	Étude I				Étude II				Études regroupées			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC**	IC 95%
<i>Soudeur et découpeur</i>												
Non (jamais travaillé)	1036	820			868	706			1904	1526		
Oui (déjà travaillé)	30	37	1,46	0,83 2,56	26	30	1,39	0,74 2,60	56	67	1,48	0,98 2,25
Oui (plus de 10 ans)	13	19	1,34	0,61 2,91	14	16	1,44	0,63 3,32	27	35	1,45	0,82 2,57
<i>Tuyauteur et plombier</i>												
Non (jamais travaillé)	1041	838			876	722			1917	1560		
Oui (déjà travaillé)	24	19	0,83	0,42 1,65	18	14	0,74	0,32 1,72	42	33	0,80	0,47 1,36
Oui (plus de 10 ans)	13	15	1,40	0,60 3,26	11	10	0,89	0,31 2,59	24	25	1,19	0,62 2,30

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

** ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'index cigarette, l'étude et l'exposition à l'amiante

Tableau 6 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, en utilisant les deux groupes témoins de l'Étude I

	Témoins (population)					Témoins (cancer)					Témoins (mis en commun)				
	Témoins	Cas		RC	IC 95%	Témoins	Cas		RC	IC 95%	Témoins	Cas		RC	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>															
Non-exposé	477	742				1196	742				949	742			
Toutes les expositions	56	115	*	1,35	0,96 1,90	153	115	*	1,21	0,93 1,57	116	115	*	1,27	0,97 1,68
			**	1,80	1,18 2,75			**	1,24	0,92 1,66			**	1,42	1,02 1,96
Niveau non-substantiel	33	62	*	1,24	0,80 1,92	82	62	*	1,20	0,85 1,70	65	62	*	1,22	0,85 1,75
			**	1,88	1,10 3,22			**	1,34	0,92 1,97			**	1,51	0,99 2,29
Niveau substantiel	23	53	*	1,51	0,91 2,50	71	53	*	1,21	0,84 1,76	51	53	*	1,35	0,90 2,00
			**	1,71	0,94 3,11			**	1,12	0,75 1,70			**	1,31	0,83 2,06
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>															
Non-exposé	461	751				1191	751				931	751			
Toutes les expositions	72	106	*	0,92	0,67 1,27	158	106	*	1,06	0,81 1,37	135	106	*	0,99	0,75 1,30
			**	1,00	0,67 1,47			**	0,99	0,74 1,33			**	0,97	0,71 1,33
Niveau non-substantiel	50	62	*	0,78	0,53 1,15	101	62	*	0,95	0,68 1,32	90	62	*	0,86	0,61 1,21
			**	0,88	0,55 1,42			**	0,94	0,65 1,35			**	0,90	0,61 1,32
Niveau substantiel	22	44	*	1,25	0,74 2,11	57	44	*	1,25	0,83 1,87	45	44	*	1,25	0,82 1,93
			**	1,23	0,66 2,28			**	1,08	0,69 1,69			**	1,12	0,69 1,82

* ajusté pour l'âge seulement

** ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 7 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

	Étude I (1979-86)					Étude II (1996-2001)					Études regroupées †				
	Témoins	Cas		RC	IC 95%	Témoins	Cas		RC	IC 95%	Témoins	Cas		RC	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>															
Non-exposé	949	742				742	627				1691	1369			
Toutes les expositions	116	115	*	1,27	0,97 1,68	152	109	*	0,86	0,66 1,12	268	224	*	1,04	0,86 1,26
			**	1,42	1,02 1,96			**	0,88	0,62 1,23			**	1,13	0,90 1,42
Niveau non-substantiel	65	62	*	1,22	0,85 1,75	120	79	*	0,79	0,58 1,07	185	141	*	0,94	0,75 1,19
			**	1,51	0,99 2,29			**	0,90	0,62 1,32			**	1,15	0,87 1,51
Niveau substantiel	51	53	*	1,35	0,90 2,00	32	30	*	1,12	0,68 1,87	83	83	*	1,25	0,92 1,71
			**	1,31	0,83 2,06			**	0,81	0,45 1,46			**	1,10	0,77 1,57
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>															
Non-exposé	931	751				727	622				1658	1373			
Toutes les expositions	135	106	*	0,99	0,75 1,30	167	114	*	0,80	0,62 1,04	302	220	*	0,88	0,73 1,07
			**	0,97	0,71 1,33			**	1,03	0,75 1,42			**	1,01	0,80 1,26
Niveau non-substantiel	90	62	*	0,86	0,61 1,21	131	81	*	0,73	0,54 0,98	221	143	*	0,78	0,62 0,98
			**	0,90	0,61 1,32			**	0,98	0,69 1,41			**	0,95	0,73 1,23
Niveau substantiel	45	44	*	1,25	0,82 1,93	36	33	*	1,07	0,66 1,74	81	77	*	1,16	0,84 1,61
			**	1,12	0,69 1,82			**	1,17	0,66 2,06			**	1,16	0,84 1,61

* ajusté pour l'âge seulement

** ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiant

† ajusté pour l'étude

Tableau 8 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions de fumées de soudage au gaz et à l'arc en fonction de la durée d'exposition, dans une analyse combinée des deux études cas-témoins

Durée d'exposition (années)	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	
<i>Fumée de soudage au gaz</i>					
0	1679	1360			
< 10	100	82	1,13	0,79	1,60
(10 - 25)	81	75	1,17	0,80	1,69
≥ 25	100	76	1,05	0,73	1,50

Durée d'exposition (années)	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>					
0	1655	1372			
< 10	112	74	0,90	0,64	1,26
(10 - 25)	96	76	1,05	0,73	1,50
≥ 25	97	71	1,00	0,69	1,45

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 9 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de **soudage au gaz** selon le sous-type histologique, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

CARCINOME	Étude I (1979-86)				Étude II (1996-2001)				Études regroupées				
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC**	IC 95%	
<i>épidermoïde</i>													
Non exposé	949	311			742	217			Non exposé	1691	528		
Toutes les expositions	116	48	1,34	0,89 2,04	152	44	0,86	0,55 1,36	Toutes les expo.	268	92	1,11	0,82 1,50
									Non-substantiel	185	61	1,19	0,83 1,70
									Substantiel	83	31	0,97	0,60 1,56
<i>à petites cellules</i>													
Non exposé	949	131			742	106			Non exposé	1691	237		
Toutes les expositions	116	28	1,56	0,94 2,60	152	19	0,86	0,45 1,66	Toutes les expo.	268	47	1,27	0,85 1,89
									Non-substantiel	185	28	1,28	0,79 2,08
									Substantiel	83	19	1,26	0,70 2,26
<i>Adénocarcinome</i>													
Non exposé	949	146			742	210			Non exposé	1691	356		
Toutes les expositions	116	21	1,17	0,68 2,03	152	31	0,88	0,54 1,43	Toutes les expo.	268	52	1,00	0,70 1,44
									Non-substantiel	185	33	0,99	0,64 1,53
									Substantiel	83	19	1,03	0,59 1,79
<i>à grandes cellules</i>													
Non exposé	949	154			742	58			Non exposé	1691	212		
Toutes les expositions	116	18	0,98	0,55 1,74	152	13	1,29	0,57 2,88	Toutes les expo.	268	31	1,09	0,69 1,72
									Non-substantiel	185	18	1,11	0,63 1,96
									Substantiel	83	13	1,06	0,55 2,06

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

** ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 10 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de **soudage à l'arc** selon le sous-type histologique, dans deux études cas-témoins ainsi qu'une analyse combinée

CARCINOME	Étude I (1979-86)				Étude II (1996-2001)				Études regroupées				
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC**	IC 95%	
<i>épidermoïde</i>													
Non exposé	931	314			727	209			Non exposé	1658	523		
Toutes les expositions	134	45	1,03	0,69 1,54	167	52	1,23	0,81 1,87	Toutes les expo.	302	97	1,13	0,84 1,50
									Non-substantiel	221	64	1,06	0,75 1,48
									Substantiel	81	33	1,29	0,81 2,06
<i>à petites cellules</i>													
Non exposé	931	134			727	111			Non exposé	1658	245		
Toutes les expositions	134	25	1,07	0,64 1,79	167	14	0,77	0,38 1,54	Toutes les expo.	302	39	0,95	0,63 1,43
									Non-substantiel	221	26	0,96	0,59 1,55
									Substantiel	81	13	0,92	0,47 1,79
<i>Adénocarcinome</i>													
Non exposé	931	145			727	208			Non exposé	1658	353		
Toutes les expositions	134	22	1,03	0,61 1,76	167	33	0,95	0,60 1,51	Toutes les expo.	302	55	0,98	0,70 1,40
									Non-substantiel	221	33	0,88	0,58 1,34
									Substantiel	81	22	1,21	0,71 2,08
<i>à grandes cellules</i>													
Non exposé	931	158			727	61			Non exposé	1658	219		
Toutes les expositions	134	14	0,59	0,32 1,10	167	10	0,92	0,40 2,13	Toutes les expo.	302	24	0,71	0,44 1,15
									Non-substantiel	221	17	0,75	0,43 1,31
									Substantiel	81	7	0,63	0,27 1,46

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

** ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 11 : Effet du statut de répondant sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Répondant par soi-même				Répondant substitut			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>								
Non exposé	1455	874			236	495		
Toutes les expositions	248	174	1,11	0,87 1,43	20	50	1,20	0,64 2,24
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>								
Non-exposé	1426	876			233	497		
Toutes les expositions	278	172	1,01	0,79 1,28	24	48	1,05	0,59 1,88

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 12 : Effet de l'appartenance ethnolinguistique sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Française				Autres (Anglais, Italiens, etc.)			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>								
Non exposé	1046	989			646	380		
Toutes les expositions	181	173	0,95	0,73 1,24	87	51	1,10	0,72 1,68
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>								
Non exposé	1033	994			626	379		
Toutes les expositions	194	168	0,88	0,68 1,14	107	52	0,91	0,61 1,36

* ajusté pour l'âge, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 13 : Effet de l'âge du participant sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Moins que l'âge médian (62 ans)				62 ans et plus			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>								
Non exposé	737	630			954	739		
Toutes les expositions	106	92	0,97	0,68 1,34	163	132	1,01	0,75 1,36
Niveau non-substantiel	69	56	0,97	0,63 1,51	117	85	1,00	0,71 1,42
Niveau substantiel	37	36	1,02	0,60 1,75	46	47	1,10	0,69 1,77

	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
	<i>Fumée de soudage à l'arc</i>							
Non exposé	732	617			926	756		
Toutes les expositions	110	105	1,05	0,75 1,47	191	115	0,76	0,57 1,02
Niveau non-substantiel	74	66	1,02	0,68 1,52	147	77	0,72	0,52 1,01
Niveau substantiel	36	39	1,22	0,72 2,07	44	38	0,96	0,58 1,60

* ajusté pour l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 14 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions professionnelles de fumées de soudage au gaz et à l'arc et stratifié selon l'intensité du tabagisme, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Non-fumeurs + Fumeurs légers				Moyens + Gros fumeurs			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>								
Non exposé	680	94			1012	1275		
Toutes les expositions	93	33	2,78	1,66 4,65	176	191	0,89	0,70 1,14
Niveau non-substantiel	72	18	2,16	1,17 3,97	113	123	0,92	0,69 1,22
Niveau substantiel	21	15	4,63	2,14 10,03	63	68	0,85	0,58 1,24
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>								
Non exposé	664	96			995	1277		
Toutes les expositions	109	31	2,20	1,32 3,70	193	189	0,79	0,63 1,00
Niveau non-substantiel	83	18	1,79	0,98 3,27	138	125	0,76	0,58 0,99
Niveau substantiel	25	13	3,45	1,59 7,48	55	64	0,87	0,59 1,28

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude et l'exposition à l'amiante

Tableau 15 : Effet conjoint du tabagisme et de deux types de fumées de soudage associé au risque de cancer du poumon, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

<i>Fumée de soudage au gaz</i>						
Tabagisme	Fumée de soudage	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	valeur p
Non + Faible	Non	680	94	1,00		
Non + Faible	Oui	93	33	2,77	1,73	4,44
Oui	Non	1012	1275	8,18	6,42	10,42
Oui	Oui	176	191	7,39	5,38	10,16

terme d'interaction : Soudage*Tabagisme 0,33 0,19 0,55 0,0000

<i>Fumée de soudage à l'arc</i>						
Tabagisme	Fumée de soudage	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	valeur p
Non + Faible	Non	664	96	1,00		
Non + Faible	Oui	109	31	2,14	1,34	3,43
Oui	Non	995	1277	7,98	6,27	10,15
Oui	Oui	193	189	6,36	4,66	8,69

terme d'interaction : Soudage*Tabagisme 0,37 0,22 0,62 0,0002

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude et l'exposition à l'amiante

Tableau 16 : Tableau des co-expositions des principaux éléments nocifs présents dans l'environnement de soudage de l'Étude I

		Étude I														
Fumées, composés, particules, poussières	n. d'emploi	Soudage au gaz	Soudage à l'arc	Soudage (tous)	Acier inox	Acier doux	Nickel	Chrome	Amiante	Benzopyrène	Fer	Silice	Cadmium	Aluminium	Zinc	Manganèse
Soudage au gaz	465		60	100	18	62	27	26	33	23	79	18	4	50	26	31
Soudage à l'arc	516	54		100	22	60	30	25	28	18	78	14	1	48	18	36
Soudage (tous)	700	66	74		18	58	26	23	29	20	77	15	3	47	20	33
Acier inox	206	40	56	62		79	100	45	17	21	100	12	3	76	31	31
Acier doux	796	36	39	51	20		24	18	22	27	100	15	3	54	24	25
Nickel	318	39	49	58	65	60		52	26	25	87	16	5	65	27	34
Chrome	359	33	36	45	26	39	46		23	15	77	23	5	55	45	30
Amiante	718	21	20	29	5	24	12	12		44	39	20	2	21	14	12
Benzopyrène	915	12	10	15	5	23	9	6	35		36	17	1	21	9	7
Fer	1201	30	34	45	17	66	23	23	23	27		18	2	46	26	24
Silice	996	8	7	10	3	12	5	8	15	15	22		0	21	10	6
Cadmium	39	51	18	56	18	54	38	49	36	21	72	3		54	46	23
Aluminium	882	26	28	37	18	48	23	22	17	22	62	24	2		24	16
Zinc	420	29	22	34	15	46	21	38	24	19	73	23	4	51		18
Manganèse	287	50	66	80	22	69	38	37	31	21	99	22	3	49	27	

* Les nombres dans le tableau représentent la proportion (%) de la colonne sur la ligne.

Exemple : l'intersection de la ligne « Soudage au gaz » et la colonne « Nickel » signifie que dans les 465 emplois où on retrouve les fumées de soudage au gaz, 27% de ces emplois étaient aussi exposés au nickel

Tableau 17 : Tableau des co-expositions des principaux éléments nocifs présents dans l'environnement de soudage de l'Étude II

Étude II

Fumées, composés, particules, poussières	n. d'emploi	Soudage au gaz	Soudage à l'arc	Soudage (tous)	Acier inox	Acier doux	Nickel	Chrome	Amiante	Benzopyrène	Fer	Silice	Cadmium	Aluminium	Zinc	Manganèse
Soudage au gaz	442	64	100	17	65	22	17	33	33	88	12	7	43	20	67	
Soudage à l'arc	493	58	100	20	64	25	14	28	30	88	14	3	43	18	68	
Soudage (tous)	650	68	76	19	62	24	14	29	30	86	13	5	40	17	67	
Acier inox	199	39	51	62	66	100	22	11	24	100	9	5	65	26	52	
Acier doux	690	42	46	59	19	23	11	25	29	100	12	4	38	19	50	
Nickel	269	36	46	57	74	59	25	13	25	91	14	5	55	23	53	
Chrome	187	39	36	48	24	40	36	12	27	68	12	25	50	34	50	
Amiante	468	31	29	40	4	37	7	5	29	51	21	1	19	12	30	
Benzopyrène	634	23	23	30	8	31	11	8	21	41	19	5	20	10	31	
Fer	987	39	44	57	20	70	25	13	24	27	13	5	35	18	50	
Silice	562	10	12	15	3	14	7	4	17	22	22	2	14	7	15	
Cadmium	97	30	18	31	10	32	13	48	6	34	53	9	35	38	34	
Aluminium	546	35	39	48	24	48	27	17	16	23	64	14	6	20	37	
Zinc	262	33	34	42	19	50	24	24	21	25	66	16	14	41	40	
Manganèse	521	57	64	83	20	66	27	18	27	38	95	16	6	38	20	

* Les nombres dans le tableau représentent la proportion (%) de la colonne sur la ligne.

Exemple : l'intersection de la ligne « Soudage au gaz » et la colonne « Nickel » signifie que dans les 442 emplois où on retrouve les fumées de soudage au gaz, 22% de ces emplois étaient aussi exposés au nickel

Tableau 18 : Effet de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc sur le rapport de cote du risque de cancer du poumon, avec ou sans la présence d'acier inoxydable, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Avec acier inoxydable				Sans acier inoxydable			
	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	Témoins	Cas	RC*	IC 95%
<i>Fumée de soudage au gaz</i>								
Non exposé	1691	1369			1691	1369		
Toutes les expositions	71	61	1,24	0,82 1,87	197	163	1,08	0,83 1,40
Niveau non-substantiel	45	32	1,35	0,78 2,34	140	109	1,08	0,79 1,47
Niveau substantiel	26	29	1,11	0,61 2,02	57	54	1,08	0,71 1,66
<i>Fumée de soudage à l'arc</i>								
Non exposé	1658	1373			1658	1373		
Toutes les expositions	84	69	1,15	0,79 1,67	217	151	0,94	0,72 1,22
Niveau non-substantiel	53	37	1,11	0,68 1,82	168	106	0,89	0,66 1,20
Niveau substantiel	31	32	1,20	0,69 2,10	49	45	1,08	0,67 1,73

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amiante

Tableau 19 : Effet de l'exposition aux fumées de soudage au gaz et à l'arc sur le rapport de cote du cancer du poumon, avec ou sans la présence d'un des trois métaux cancérogènes (Cr, Ni, Cd) dans une analyse combinée de deux études cas-témoins

	Témoins	Cas	RC*	IC 95%	
Non exposé	1462	1182			
<i>Fumées de soudage, sans métaux</i>					
Toutes les expositions	231	174	1,07	0,84	1,38
Niveau non-substantiel	171	118	1,07	0,80	1,44
Niveau substantiel	60	56	1,10	0,71	1,69
<i>Fumées de soudage, avec métaux</i>					
Toutes les expositions	148	129	1,21	0,91	1,62
Niveau non-substantiel	93	71	1,17	0,81	1,68
Niveau substantiel	55	58	1,29	0,84	1,98
<i>Métaux, sans fumées de soudage</i>					
Toutes les expositions	118	108	1,23	0,91	1,68
Niveau non-substantiel	104	97	1,29	0,93	1,79
Niveau substantiel	14	11	0,81	0,32	2,03

* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude, l'index cigarette et l'exposition à l'amianté

10. FIGURES

Figure 1 : Principaux éléments présents dans la fumée (concentration > 1%) en fonction des principaux procédés de soudage sur différents métaux

MIG/Al	Al
MIG/Ni	Ni, Fe
MIG-MAG/MS	Fe, Mn, Si
MIG-MAG/SS	Fe, Mn, Cr, Ni
MIG/MS	Fe, Mn, Si, K
MMA/Ni	Ni, Fe, Ba
MMA/MS	Fe, Mn, Ca, K, Si, F, Ti
MMA/SS	Fe, Mn, Ca, Si, F, K, Ti, Cr, Ni

Source : Adapté à partir de Table 2, IARC Monographs Volume 49, 1990, p.459

Figure 2 : Moyenne ou plage de distribution (%) des éléments des fumées de soudage, par type et par métal soudé

Élément	Fumée de soudage à l'arc électrique		Fumée de soudage au gaz		Méthode	Référence
	Acier doux	Acier inox	Acier doux	Acier inox		
Si	2,7-8,1	2,8-5,6	1,6-3,3	0,9	XRF	Mayer & Salsi (1980)
	-	10	-	1,7	XRF	Moreton et al. (1986)
F	7-14	16-24	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	14,9	-	-	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,6-17	7-11,5	0,05-14	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Cl	ND-0,54	ND-0,34	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
K	9-19	18-22	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	19,9	-	<0,1	XRF	Moreton et al. (1986)
	5,1-15	8,7-15,4	0,11-5,7	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Ca	0,62-2,6	1,3-10	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	0,4	-	<0,2	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,09-10,8	3,8-6,8	0,01-13,6	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Ti	ND-0,54	0,62-2,3	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	2,1	-	0,1	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,6-2,4	7,7-12,7	0,0006-2,8	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Cr	ND-0,07	3,0-3,4	0,07	10-12	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	5,0	-	13,4	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,11-0,7	6,5-9,2	0,2-0,6	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Mn	2,8-5,9	2,4-14	7,3	4,8-5,3	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	5,0	-	12,6	XRF	Moreton et al. (1986)
	2,7-5,6	4,3-5,0	3,9-7,0	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Fe	11-32	3,3-3,7	45	28-31	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	5,1	-	33,3	XRF	Moreton et al. (1986)
	14,4-31,8	6,0-15,9	33-55	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Ni	ND	0,22-0,44	ND	4,5-4,8	PIXE	Malmqvist et al. (1986)

Élément	Fumée de soudage à l'arc électrique		Fumée de soudage au gaz		Méthode	Référence
	Acier doux	Acier inox	Acier doux	Acier inox		
	-	0,4	-	4,9	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,01-0,32	0,48-2,9	0,01-0,06	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Cu	ND-0,08	ND-0,01	0,26	0,06-0,09	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	<0,1	-	0,6	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,04-0,24	0,09-0,14	0,01-0,18	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Zn	0,04-0,29	0,22-0,25	0,04	0,17-0,18	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	0,04-0,07	0,007-0,10	0,08-0,40	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
As	ND-0,06	ND	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	0,005-0,05	0,003-0,01	0,009-0,12	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Rb	ND	ND-0,02	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
Zr	ND-0,54	ND	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
Mo	ND	ND-0,09	ND	0,92-0,95	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	-	<0,02	-	0,6	XRF	Moreton et al. (1986)
	0,005-0,3	0,2-1,4	0,1-0,2	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)
Pb	<0,07	ND-0,04	ND	ND	PIXE	Malmqvist et al. (1986)
	0,03-0,28	0,08-0,55	0,05-0,22	-	XRF	Mayer & Salsi (1980)

^a XRF, X-ray fluorescent spectrometry; PIXE, proton-induced X-ray spectrometry; -, no data; ND, not detected.

Source : Adapté à partir de Table 2, IARC Monographs Volume 49, 1990, p.458-459

Figure 3 : Étapes menant vers l'échantillon final de chaque étude cas-témoins

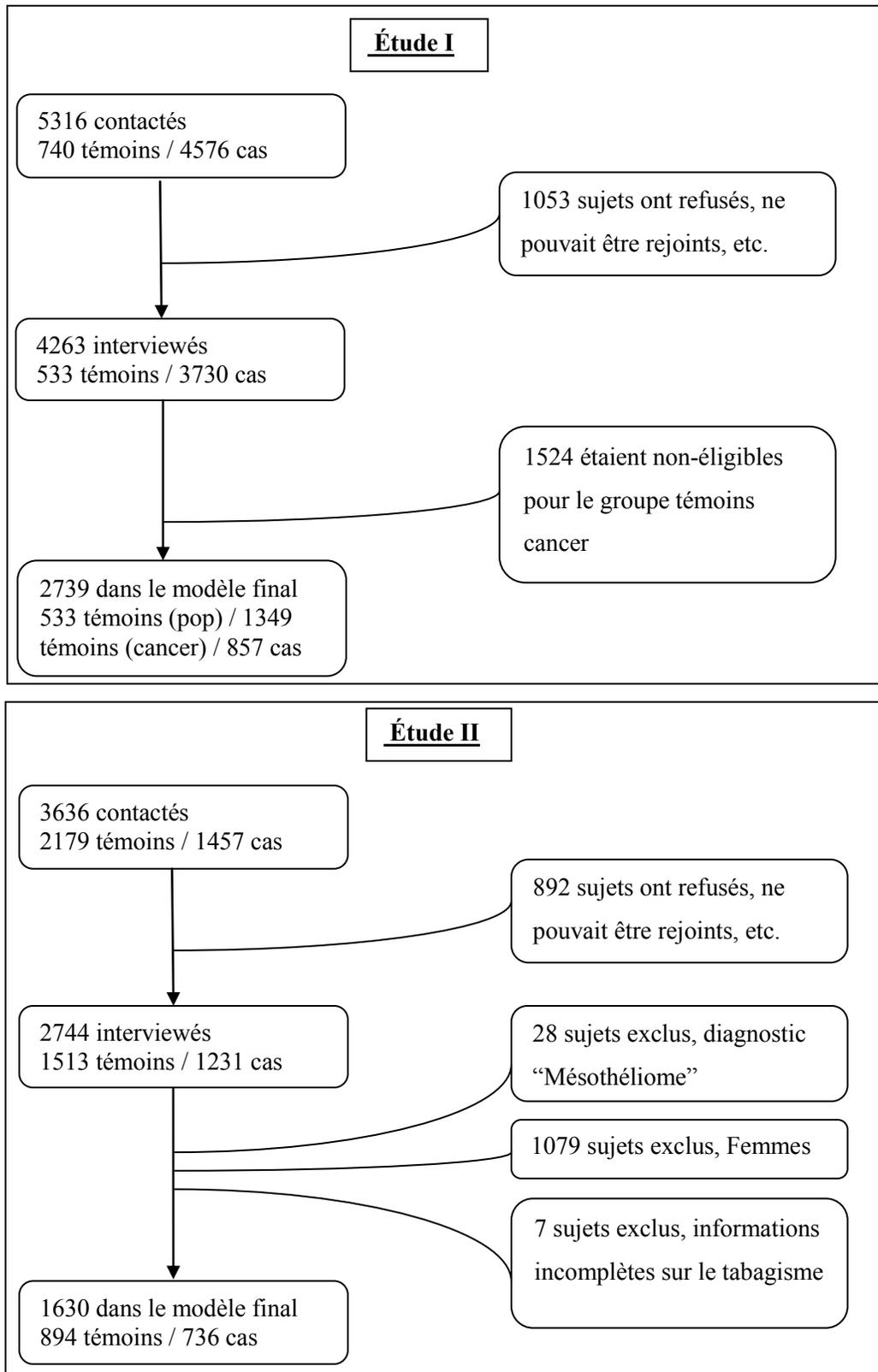
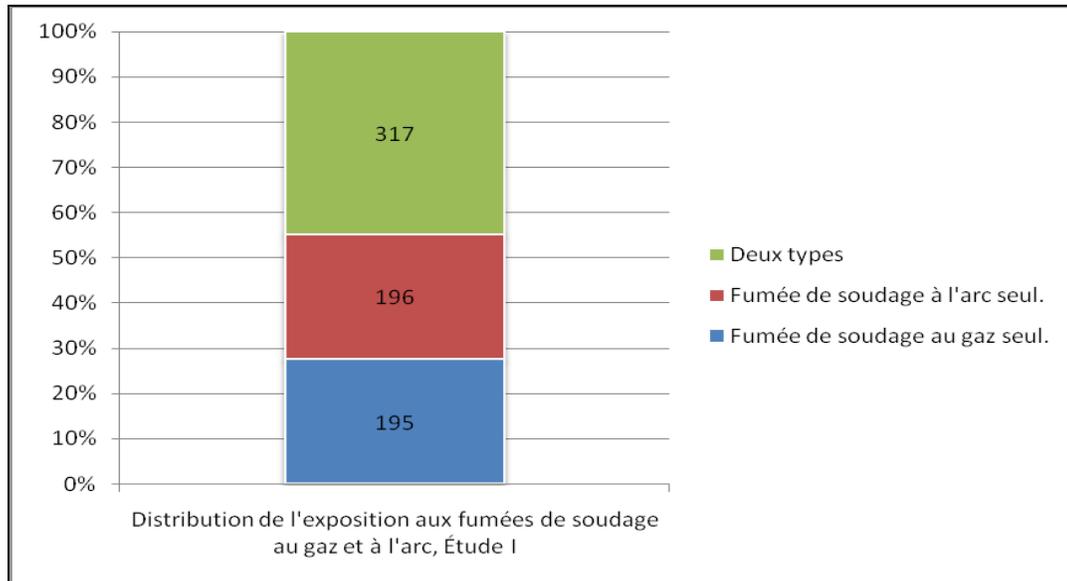
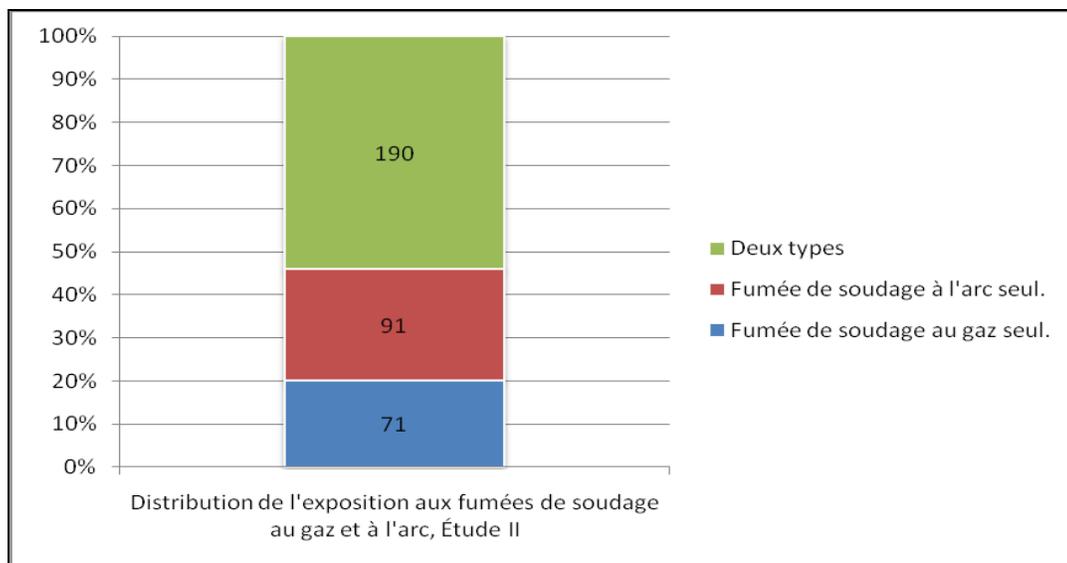


Figure 4 : Nombre de participants exposés aux fumées de soudage au gaz et à l'arc dans chacune des deux études et le pourcentage de chevauchement entre les 2 types de fumées



Étude I

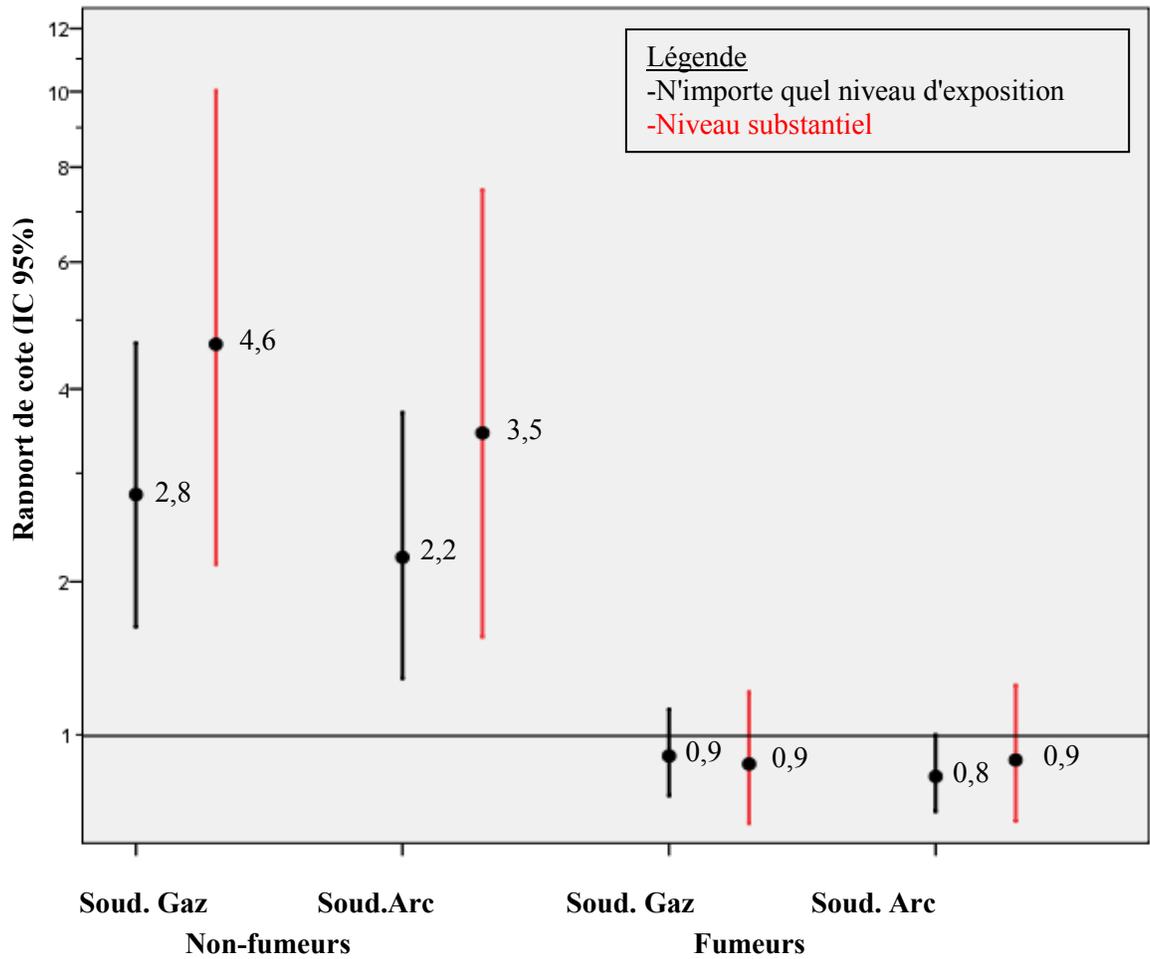
Nombre total de participants = 2739, Nombre de participants exposés = 708



Étude II

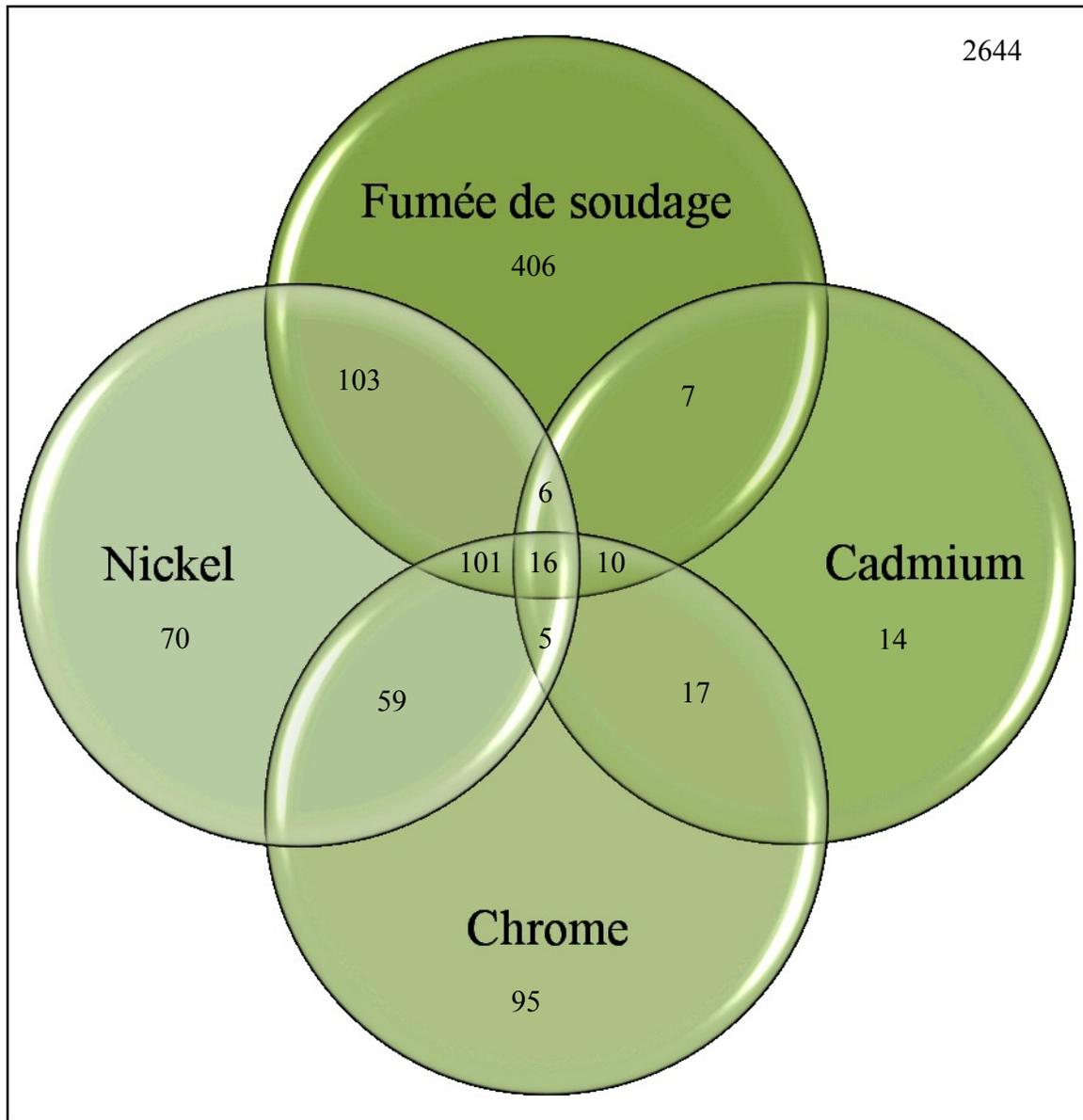
Nombre total de participants = 1630, Nombre de participants exposés = 352

Figure 5 : Rapport de cote du risque de cancer du poumon associé aux expositions aux fumées de soudage, chez les non-fumeurs et les fumeurs, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins



* ajusté pour l'âge, l'appartenance ethnolinguistique, le niveau d'éducation, le statut de répondant, l'étude et l'exposition à l'amiante

Figure 6 : Relation entre l'exposition à la fumée de soudage et à trois vapeurs de métaux carcinogènes, dans une analyse combinée de deux études cas-témoins



ANNEXE 1 : Questionnaire détaillé pour les soudeurs

Mat	Job	Prenom	Nom
SOUDEURS			
1. Faisiez-vous de la soudure au gaz, du brasage ou de la coupe au gaz?			
Oui Non		Si non: Passez à la Question 2	
Si oui:			
a) Parmi les gaz suivants, lesquels utilisiez-vous?		Combien de semaines par année les utilisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?
Acétylène	Non Oui	_____	_____
Hydrogène	Non Oui	_____	_____
Propane	Non Oui	_____	_____
Gaz naturel	Non Oui	_____	_____
Gaz MAPP	Non Oui	_____	_____
Autre (précisez)	Non Oui	_____	_____
_____	Non Oui	_____	_____
2. Faisiez-vous de la soudure ou de la coupe à l'arc électrique? Oui Non			
Si oui: _____		Passez à la Question 3	
a) Quels types de soudure à l'arc faisiez-vous?		Combien de semaines par année le faisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?
Soudure à l'arc standard (MMA)	Non Oui	_____	_____
Soudure à l'arc sous flux	Non Oui	_____	_____
TIG	Non Oui	_____	_____
MIG	Non Oui	_____	_____
Autre (précisez)	Non Oui	_____	_____
b) Quels types d'électrodes étaient le plus souvent utilisés? (précisez les numéros si possible)			
_____		_____	
_____		_____	
3. Faisiez-vous de la soudure au fer? Oui Non Si non: Passez à la Question 4.			
Si oui: _____			
a) Quels types de soudure au fer faisiez-vous?		Combien de semaines par année le faisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?
Propane	Non Oui	_____	_____
Fer électrique	Non Oui	_____	_____
Brasage tendre à la vague	Non Oui	_____	_____
Brasage au four	Non Oui	_____	_____
Autre (précisez)	Non Oui	_____	_____
_____	Non Oui	_____	_____
b) Quels types de métal à souder utilisiez-vous?			

Mat	Job	Prenom	Nom																																																																						
<p>4. Utilisez-vous d'autres procédés de soudure (ex.: soudure à l'arc de plasma, soudure électrique par résistance)?</p> <p>Oui Non Si non: Passez à la Question 5.</p> <p>Si oui:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: left;">Précisez</th> <th style="width: 25%; text-align: center;">Combien de semaines par année le faisiez-vous?</th> <th style="width: 25%; text-align: center;">Combien d'heures par semaines?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table>				Précisez	Combien de semaines par année le faisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____																																																										
Précisez	Combien de semaines par année le faisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?																																																																							
_____	_____	_____																																																																							
_____	_____	_____																																																																							
_____	_____	_____																																																																							
<p>5. a) Parmi les métaux suivants, lesquels soudiez-vous?</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Combien de semaines par année les utilisiez-vous?</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Combien d'heures par semaines?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acier inoxydable</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Acier doux (ordinaire ou de construction)</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Acier plaqué à l'étain</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Acier plaqué au cadmium</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Acier plaqué au plomb</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Acier galvanisé</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Fer galvanisé</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Cuivre</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Bronze</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Aluminium</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Laiton</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Fer de fonte</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Autre métal ou alliage</td> <td style="text-align: center;">Non</td> <td style="text-align: center;">Oui</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table> <p>S.V.P. précisez le type de métal ou d'alliage et le numéro d'alliage si possible:</p> <p>_____</p> <p>_____</p>							Combien de semaines par année les utilisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?	Acier inoxydable	Non	Oui	_____	_____	Acier doux (ordinaire ou de construction)	Non	Oui	_____	_____	Acier plaqué à l'étain	Non	Oui	_____	_____	Acier plaqué au cadmium	Non	Oui	_____	_____	Acier plaqué au plomb	Non	Oui	_____	_____	Acier galvanisé	Non	Oui	_____	_____	Fer galvanisé	Non	Oui	_____	_____	Cuivre	Non	Oui	_____	_____	Bronze	Non	Oui	_____	_____	Aluminium	Non	Oui	_____	_____	Laiton	Non	Oui	_____	_____	Fer de fonte	Non	Oui	_____	_____	Autre métal ou alliage	Non	Oui	_____	_____
			Combien de semaines par année les utilisiez-vous?	Combien d'heures par semaines?																																																																					
Acier inoxydable	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Acier doux (ordinaire ou de construction)	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Acier plaqué à l'étain	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Acier plaqué au cadmium	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Acier plaqué au plomb	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Acier galvanisé	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Fer galvanisé	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Cuivre	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Bronze	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Aluminium	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Laiton	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Fer de fonte	Non	Oui	_____	_____																																																																					
Autre métal ou alliage	Non	Oui	_____	_____																																																																					
15 décembre 2005		Soudeurs		Page 2																																																																					

Mat	Job	Prenom	Nom													
b) Lesquelles de ces tiges de métal utilisez-vous?			Combien de semaines par année les utilisez-vous?	Combien d'heures par semaines?												
Acier enrichi de fer/carbone	Non	Oui	_____	_____												
Soudure à l'étain et au plomb	Non	Oui	_____	_____												
Bronze	Non	Oui	_____	_____												
Argent	Non	Oui	_____	_____												
Laiton	Non	Oui	_____	_____												
Cuivre	Non	Oui	_____	_____												
Autre (précisez) _____	Non	Oui	_____	_____												
c) Utilisez-vous du métal fondant?		Oui	Non	Ne sait pas												
Si oui:		<table border="1"> <tr> <td>Incorporé à la tige à souder</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Non incorporé</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>(précisez) _____</td> <td></td> </tr> </table>			Incorporé à la tige à souder	<input type="checkbox"/>	Non incorporé	<input type="checkbox"/>	(précisez) _____							
Incorporé à la tige à souder	<input type="checkbox"/>															
Non incorporé	<input type="checkbox"/>															
(précisez) _____																
6. Est-ce que les pièces de métal que vous soudez étaient déjà recouvertes d'apprêt (couche de fond), peinture ou huile (ex.: huile lubrifiante ou anti-corrosion)?																
Non	Oui	<table border="1"> <tr> <td>Apprêt à base de plomb</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Apprêt à base de cadmium</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Peinture à base de plomb</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Peinture à base de cadmium</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Huile</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Autre (précisez) _____</td> <td></td> </tr> </table>			Apprêt à base de plomb	<input type="checkbox"/>	Apprêt à base de cadmium	<input type="checkbox"/>	Peinture à base de plomb	<input type="checkbox"/>	Peinture à base de cadmium	<input type="checkbox"/>	Huile	<input type="checkbox"/>	Autre (précisez) _____	
Apprêt à base de plomb	<input type="checkbox"/>															
Apprêt à base de cadmium	<input type="checkbox"/>															
Peinture à base de plomb	<input type="checkbox"/>															
Peinture à base de cadmium	<input type="checkbox"/>															
Huile	<input type="checkbox"/>															
Autre (précisez) _____																
7. Laquelle des méthodes suivantes utilisez-vous pour vérifier vos soudures?			Combien de semaines par année les utilisez-vous?	Combien d'heures par semaines?												
Inspection visuelle	Non	Oui	_____	_____												
Particules magnétiques	Non	Oui	_____	_____												
Huile	Non	Oui	_____	_____												
Eau	Non	Oui	_____	_____												
Gaz traceur	Non	Oui	_____	_____												
Fréons	Non	Oui	_____	_____												
Rayons-X	Non	Oui	_____	_____												
Ultrasons	Non	Oui	_____	_____												
Autre (précisez) _____	Non	Oui	_____	_____												
15 décembre 2005		Soudeurs		Page 3												

Mat	Job	Prenom	Nom
8. a) Faisiez-vous du meulage? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
Si oui: _____			
Quels types d'abrasifs utilisez-vous?		Combien de semaines par année les utilisez-vous?	Combien d'heures par semaines?
_____		_____	_____
_____		_____	_____
b) Utilisez-vous du papiers abrasifs pour nettoyer les pièces? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
Si oui: _____			
Quels types de papiers abrasifs utilisez-vous?		Combien de semaines par année les utilisez-vous?	Combien d'heures par semaines?
_____		_____	_____
_____		_____	_____
c) Utilisez-vous la chaleur pour nettoyer les pièces? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
Si oui: _____			
Quels types de revêtements enleviez-vous?			
Peinture à base de plomb <input type="checkbox"/>		Peinture à base de cadmium <input type="checkbox"/>	
Apprêt à base de plomb <input type="checkbox"/>		Apprêt à base de cadmium <input type="checkbox"/>	
Autre (précisez) <input type="checkbox"/>			

9. Parmi les produits suivants, lesquels utilisez-vous pour nettoyer ou dégraisser les pièces? Combien de semaines par année les utilisez-vous? Combien d'heures par semaines?			
Essence minérale (naphte)	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
Trichloroéthylène	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
1,1,1 - Trichloroéthane	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
Acide muriatique	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
Acide sulfurique	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
Alcalis	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____
Autre (précisez)	Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	_____	_____

Par exemple: Varsol, Chlorothene, Royalene, Triclène			
S.V.P. décrire la procédure utilisée pour dégraisser les pièces: _____			

Mat	Job	Prenom	Nom
10. Quel produit utilisiez-vous pour vous nettoyer les mains?			
		Combien de semaines par année les utilisiez-vous?	Combien d'heures par semaine?
Nettoyeur pour les mains	Non	Oui	_____
Essence minérale (naphte)	Non	Oui	_____
Autre (précisez) _____	Non	Oui	_____
Par exemple: Varsol, Chlorothene, Royalene, Triclène			